

Kemian tekniikan korkeakoulu
Puunjalostustekniikan tutkinto-ohjelma

Janne Hämäläinen

Eräkeittämön tuotannon optimointi

Diplomityö, joka on jätetty opinnäytteenä tarkastettavaksi diplomi-insinöörin tutkintoa varten Espoossa 5.12.2013.

Valvoja

Professori Jouni Paltakari

Ohjaaja

Diplomi-insinööri Harri Snellman

Author Janne Hämäläinen

Title of thesis Optimization of batch cooking process

Department School of Chemical Technology

Professorship Department of Forest Product Technol-
ogy

Thesis supervisor Jouni Paltakari

Thesis advisor(s) / Thesis examiner(s) Harri Snellman

Date 26.9.2013

Number of pages 81

Language Finnish

Abstract

The target of this thesis was to optimize the cooking process at Storaenso Enocell pulp mill. It also aimed to develop tools for daily production supervision to ease the detection of capacity decreases.

The theory section of this thesis explains the basics of the sulfate cellulose and batch cooking processes focusing especially on the principles of the SuperBatch cooking.

The experimental section discusses optimization of cooking process at a pulp mill by utilizing the monitoring systems which were also modified and optimized. Optimization focuses on the capacity of certain cookers and sequences that were recognized as a bottle neck. Wedge report, Wedge model, Optivision report and history data were used to determine deviations in sequences

The results of the optimization are analyzed in the last chapter. After several improvements relating, for example, to filling of wood chips, cleaning of screens and pumping of black liquor the capacity of the cookers was improved approximately 10 percent. Monitoring tools created for this thesis can be brought into use in daily work for more efficient detection of the bottle necks.

Keywords SuperBatch, batch cooking, optimization

LYHENNELUETTELO

K5-K10

KL2

KL1

Pine

KML

LML

KVL

HT

LLT

KMLT

Keittimet 5-10

Kuitulinja 2

Kuitulinja 1

Mäntyä sisältävä sellulaatu

Kuumamustalipeä

Lämminmustalipeä

Kuumavalkolipeä

Haketäyttö

Lämminlipeätäyttö

Kuumamustalipeätäyttö

JOHDANTO

Uimaharjun tehtaalla on aiemmin tehty lopputyö, jonka tavoitteena oli ratkaista aiemmin pullonkaulana olleen pesemön ongelmat. Näiden ongelmien ratkaisun jälkeen keittämön kapasiteetti ja ongelmat ovat muodostaneet tehtaan tuotannon pääasiallisen pullonkaulan.

Työn tavoitteena oli luoda kuitulinjojen työnjohdolle raportointityökalut joiden avulla pullonkaulojen kehittymiseen voidaan reagoida mahdollisimman nopeasti ja optimoida keittämön keittimien kapasiteettia.

Työkalujen luomisen ohella tavoitteena oli löytää havulinjan keittimien merkittävimmät eroavaisuudet eri keittovaiheiden kestoajoissa.

Keittämö sisältää hakkeen syöttölaitteiston, 10 keitintä, tankkifarmin ja kaasujen käsittelyn.

LYHENNELUETTELO	1
JOHDANTO	2
I KIRJALLISUUSOSA	6
1 MASSAN VALMISTUSMENETELMÄT	6
1.1 Mekaaniset massat	6
1.2 Kemialliset massat	7
2 KEITTOTAPAHTUMA SULFAATTIKEITTOSSA	8
2.1 Keittoneste	9
2.1.1 Penetraatio	10
2.1.2 Diffuusio	11
2.2 Kemialliset reaktiot	13
2.3 Ligniinin liukeneminen	13
2.3.1 Uutosdelignifiointivaihe	13
2.3.2 Bulkkidelignifiointi	15
2.3.3 Jäännösdelignifiointi	16
2.4 Alkaliannos ja sulfiditeetti	16
2.5 Neste - Puusuhte	17
2.6 Hiilihydraattien reaktiot	18
2.7 Uuteaineiden reaktiot	19
2.8 H-tekijä	20
3 ERÄKEITTO	22
3.1 Lujuussaanto pitkäkuituselluilla	22
3.2 Konventionaalinen eräkeitto	23
3.2.1 Syrjäytyseräkeitto	23
4 SUPERBATCH KEITTO	27
4.1 Keittimet	27
4.2 Tankkifarmi	28
4.3 Lämmönvaihtimet	29
4.4 Prosessikaasujen käsittely	30
4.5 Keittokierto	30
4.5.1 Haketäyttö	31
4.5.2 Lämminmustalipeätäyttö (Imeytys)	32
4.5.3 Kuumamustalipeätäyttö	33
4.5.4 Nosto/Keitto	34

4.5.5	Syrjäytys	34
4.5.6	Pusku	35
4.6	Automaatiojärjestelmä	35
4.6.1	Ohjauksen perustoiminnot	36
4.6.2	Perustaso.....	37
4.6.3	Ylätaso.....	38
4.6.4	Tuotannon ohjaus	40
II	KOKEELLINEN OSA	43
5	TEHDASKUVAUS	43
6	KEITTIMEN KAPASITEETIN PULLONKAULAN MÄÄRÄYTYMINEN	44
6.1	Pullonkaulan selvittäminen.....	45
7	TEHTAALLA ILMENNEEN ONGELMAN KUVAUS.....	47
8	TAVOITTEET JA TUOTANTO ENNEN TYÖN ALOITTAMISTA	48
9	KÄYTETYT MENETELMÄT	49
9.1	Optivision raportti.....	50
9.2	Wedgemalli	51
9.3	Wedgeraportti.....	52
10	TULOSTEN TARKASTELU.....	53
10.1	Haketäyttö	53
10.1.1	Hakehihnapainot.....	53
10.1.2	Kuljetin- ja ruuviviiveet	54
10.1.3	Paukaushöyryn paine	55
10.1.4	Pakkauslaitteiden kunnan seuranta.....	57
10.2	KML- täyttö	58
10.3	Nosto/keitto.....	61
11.4.1	Tukkeentuneet kaasaussihdit	61
11.4.2	Kuumavalkolipeäakun lämpötila.....	62
10.5	Syrjäytys	62
11.5.1	Syrjäytyksen keskeytyminen paineheittoon	62
11	TEHTYJEN MUUTOSTEN VAIKUTUS K5-K10 KAPASITEETTIIN	64
11.1	Haketäyttö	64
11.1.1	Viiveet	64
11.1.2	Paukaushöyryn paineen rampitus.....	65
11.2	Kuumalipeätäyttö	65

11.3	Nosto/Keitto.....	65
11.4	Syrjäytys	66
12	KOKEELLISEN OSAN YHTEENVETO	67
13	AJATUKSIA JATKOKEHITYKSEEN	70
13.1	Haketäytön hihnapainot	70
13.2	Ruuvien ohjaus.....	70
13.3	LL - Täyttö.....	71
13.4	KL - Täyttö	72
13.5	KMLA:n lämpötila nostossa.....	72
13.6	KMLA:n paine	72
13.7	Syrjäytys	73
	Lähdeluettelo ja lähdeviitteet	74

I KIRJALLISUUSOSA

1 MASSAN VALMISTUSMENETELMÄT

Puun valmistaminen massaksi tarkoittaa kuitujen erottamista toisistaan. Tämä prosessi on mahdollista tehdä mekaanisella, kemiallisella tai kemimekaanisella menetelmällä. Kemiallisissa menetelmissä liuotetaan puun ligniiniä ja muita liukoisia aineita kemikaaleilla, jolloin saantoprosentti pienenee. Mekaanisissa menetelmissä ligniini jää pääosin kuituihin kiinni tai kulkeutuu hienoaineena massan mukana tuotteeseen. Mekaanisten menetelmien saanto on yleensä 93-98%, puoliselujen 70-85%, suursaantosellujen 52-70%, kemiallisten sellujen 40-55 % ja liukosellun 30-40%. /1/

1.1 Mekaaniset massat

Mekaaniset massat jaetaan hiokkeeksi ja hierteeksi valmistusmenetelmästä riippuen. Hioketta valmistetaan 1-1,5 m pituisista pöleistä, joita hiotaan joko paineistetussa tai paineistamattomassa tilassa suuren hiomakiven pintaa vasten. Apuna tässä käytetään kuumaa vettä, jonka avulla ligniini pehmenee ja kuidut saadaan helpommin erilleen. /1/

Hierteen valmistus eroaa hiokkeesta siten, että puu haketetaan kuorimisen jälkeen ja kuidutetaan hakemuodossa levykuiduttimilla. Jos hake esilämmitetään paineistetussa tilassa, puhutaan kuumahierteestä. Käytettäessä apuna lievää kemikaalikäsittelyä puhutaan kemiherteestä. /1/

Mekaaniset massat ovat sopivia alempilaatuisten painopapereiden valmistuksessa (mm. sanomalehti, SC, LWC MWC), koska ne ovat hinnaltaan edullisia ja antavat paperille hyvän pohjanmuodostuksen ja opasiteetin. Mekaanisia massoja käytetään myös mm. taivekartonkien keskikerroksessa edullisen hinnan ja hyvän bulkin takia. /1/

1.2 Kemiaalliset massat

Kemiaallisia massoja voidaan valmistaa mm. sulfaatti- ja sulfiitti menetelmillä. Näistä menetelmistä sulfaattimenetelmä on huomattavasti yleisempi, eikä sulfiittimenetelmällä valmisteta Suomessa enää kuin NSSC, eli puoliselua kahdella tehtaalla aallotuskartonkia varten.

Kemiaallisessa massanvalmistuksessa puun ligniiniä poistetaan kemikaalien avulla. Ligniinin määrä on verrannollinen niin sanottuun kappalukuun, joka on riippuvainen puulajista.

Massan ligniinipitoisuus saadaan kertomalla kappaluku puukohtaisella vakioilla. Seuraavassa muutamia esimerkkejä näistä vakioista: /1/

Mänty- ja kuusisulfaatti	0,153
Koivusulfaatti	0,165
Kuusisulfiitti	0,187

Eri tarkoituksiin käytettävien sulfaattisellujen viitteellisiä kappalukuja:

Taulukko 1. Eri sulfaattimassojen kappalukuja/1/

Havupuusellu	KAPPALUKU	
Valkaisematon	kraftlinerkartonkiin	80-100
	säkipaperiin	40-50
	kirjepapereihin ym.	28-40
Valkaistu	normaali keitto	25-35
	jatkettu keitto	23-25
Koivusellu		
Valkaistu	normaali keitto	18-22
	jatkettu keitto	15-26

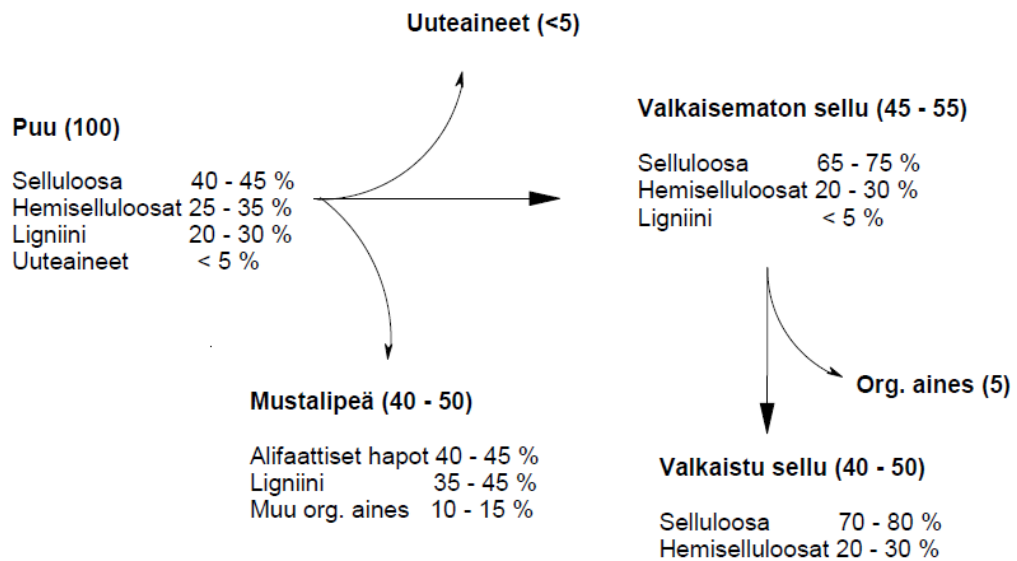
2 KEITTOTAPAHTUMA SULFAATTIKEITOSSA

Sulfaattikeiton tarkoituksena on poistaa ainakin osittain puukuituja toisiinsa sitova ligniini, joka on keskittynyt välilamelliin ja sekundaariseiniin. Tämä tapahtuma pyritään suorittamaan niin että hiilihydraatit eivät vaurioidu merkittävästi. Sulfaattikeitolla valmistettu massa on lujempaa kuin sulfiittikeitolla valmistettu. Menetelmän huonoina puolina pidetään sulfaattimassan vaikeahkoa valkaistavuutta ja muodostuvista rikkiyhdisteistä aiheutuvia hajuhaittoja. /2/

Keittoprosessi tapahtuu voimakkaasti alkalisella, natriumhydroksidia ja natriumsulfidia sisältävällä liuksella. Keiton jälkeen mustalipeäksi kutsuttu keittoliuos otetaan talteen. Mustalipeäjäe sisältää puusta liuenneita aineita. Puuraaka-aine jaetaan lyhytkuitu (lehtipuu) ja pitkäkuituselluihin (havupuu). /2/

Lyhytkuitusellun raaka-aineena käytetään muun muassa koivua, vaahteraa, eukalyptusta ja akasiaa. Pitkäkuituisen sellun valmistuksessa käytetään pääasiassa eri kuusi-, mänty- pihta-jalehtikuusilajeja. Keittoon tuleva puuaines kuoritaan ja haketetaan ennen keittoprosessia. /2/

Keittoaika ja lämpötila määräytyvät sen mukaan, minkälainen kappa massalle halutaan. Keiton lopputulokseen vaikuttavat raaka-aineiden laatuvariaatiot ja varsinaisen keiton olosuhteet. Olosuhteet joihin voidaan vaikuttaa, ovat puulaji, hakkeen koko- ja laatuvariaatio, kemikaaliannos, nestesuhde, keittoliuoksen koostumus ja sen sulfiditeetti ja keittoaika ja keittolämpötila. Sulfaattikeittimet on jaettu vuo- ja eräkeittimiin. /3,4/ Oheisessa kuvassa sulfaattiselluloosakeiton ainetase.



Kuva 1. Sulfaattiselluloosakeiton ainetase /2/

2.1 Keittoneste

Keittoneste koostuu valkolipeästä, hakkeen mukana tulevasta vedestä, täyttöhöyryn lauhteesta sekä mustalipeästä.

Valkolipeä on vahvasti alkalinen vesiliuos, jonka tärkeimmät komponentit ovat natriumhydroksidi(NaOH) ja natriumsulfidi(Na_2S). Keiton teholliseen alkaliin lasketaan NaOH ja puolet Na_2S :sta. Sulfiditeettilasketaan jakamalla Na_2S :n määrä NaOH :n ja Na_2S :n yhteenlasketulla määrällä. Tavallisesti tehollinen alkali on tavallisesti 12-15 % ja sulfiditeetti 25-35 % absoluuttisesti kuivan hakkeen massasta./2/

Valkolipeä sisältää myös pieniä määriä Na_2CO_3 , Na_2SO_4 , $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$, NaCl ja CaCO_3 :a. Keittokeimikaaleista reagoivia ovat NaOH ja Na_2S sekä vähäisemmässä määrin Na_2CO_3 . Vahvoina elektrolyytteinä nämä dissosioituvat vesiliuoksessa. /4/

Mustalipeä on sulfaattikeiton jätelientä, joka sisältää mm. liuenneita orgaanisia aineita, epäorgaanisia suoloja ja vettä. Mustalipeän koostumukseen vaikuttaa käytetyn puuraaka-aineen kemialliset ominaisuudet, keiton kappatavoite, keitto-olosuhteet ja keittomenetelmät. /5/

Ligniinin tasainen liukeneminen hakkeesta on mahdollista vain silloin, jos keittoneeste on läpikotaisin imeytynyt puuraaka-aineeseen. Imeytyminen jaetaan penetraatioon ja diffuusioon. /4/

2.1.1 Penetraatio

Penetraatio on nesteen johtamista kapillaareihin paine-eron tai kapillaarivoimien vaikutuksella. Penetraatio tapahtuu kuitujen pituussuunnassa 50-200 kertaa nopeammin kuin poikkisuunnassa. Ilman paine-eroa tapahtuvassa penetraatiossa keittoliuos tunkeutuu hakkeeseen kapillaari-ilmiön johdosta.

Penetraatio tapahtuu sekä pakotetulla että luonnollisella tavalla. Pakotetussa penetraatiossa keittoneeste johdetaan hakkeen kapillaareihin paine-eron avulla. Luonnollisessa penetraatiossa keittoneeste kulkeutuu hakkeeseen kapillaarivoimien avulla. Penetraatioon vaikuttaa hakepalan mitat, hakkeen kosteus- ja ilmapitoisuus, lipeän ominaisuudet, lämpötila, puun tiheys, huokosrakenne, paine-ero ja aika. /4,6/

Luonnollinen penetraatio lasketaan seuraavalla yhtälöllä/4/:

$$h^2 = r\sigma t / 2 * \frac{1}{n} \quad (1)$$

jossa

h = tunkeutumisetaisyys

r = kapillaarin säde

σ = liuoksen pintajännitys

t = aika
 η = viskositeetti

Pakotettu penetraatio lasketaan seuraavalla yhtälöllä: /4/

$$\frac{V}{t} = k \frac{n r^4 \Delta P}{L \eta} \quad (2)$$

jossa

v/t = aikayksikössä kapilaareihin tunkeutuva nestemäärä
 n = kapilaarien lukumäärä
 r = kapilaarin säde
 ΔP = paine-ero
 L = kapilaarien pituus
 η = liuoksen viskositeetti

Oleellista penetraation nopealle ja täydelliselle onnistumiselle on ilman poisto hakkeesta. Ilmanpoistolle on olemassa useita menetelmiä, joista hakkeen höyrykäsittely on teknisesti suositeltavin ilmanpoistomenetelmä. Höyrykäsittelyssä hakkeen sisällä oleva ilma laajenee lämmitessään ja siitä saadaan poistettua noin 25%. /4/

2.1.2 Diffuusio

Diffuusiossa keittokemikaalit ja reaktiotuotteet siirtyvät hakkeeseen väkevyyseron vaikutuksesta. Hakkeen ollessa kyllästettynä keittoliuoksella kemikaalit ja reaktiotuotteet kulkevat hakkeeseen ja sieltä pois diffuusion ohjaamana. /4/

Diffuusio tapahtuu seuraavan yhtälön mukaan, kun vakiokonsentraatio vallitsee molemmilla puolilla huokoista kiinteää ainekerrosta.

$$\frac{m}{t} = DA \frac{c}{d/2} \quad (3)$$

jossa

m/t	= siirtyvä kemikaalimäärä hakkeeseen
D	= diffuusiokerroin, cm ² /s
A	= puun tehollinen kapilaaripoikkipinta, ECCSA, cm ²
C	= konsentraatioero hakenesteen ja keittoliuoksen välillä, g/l
d	= hakkeen paksuus, cm

Tehollinen kapilaaripoikkipinta kasvaa pH:n kasvaessa. Alkalisen keittoliuoksen turvottaessa puuta on diffuusio lähes yhtä tehokas joka suuntaan, jolloin ratkaisevimaksi tekijäksi muodostuu pienin hakedimensio eli hakkeen paksuus. Ohuempi hakepaksuus johtaa lyhyempään keskimääräiseen kuidunpituuteen massassa, mutta keittotulos on tasaisempi.

Paksulla hakkeella on pidempi keskimääräinen kuidunpituus, mutta tällainen hake keittyy epätasaisemmin. Haketuksessa hakepalan haluttu pituus määrittää hakkeen paksuutta. Paksua haketta käytettäessä rejektimäärä kasvaa huonosta diffuusiosta johtuen.

pH:n laskiessa hakkeen sisällä alle 12,5 alenee diffuusionopeus hidastaen delignifointia. Keittolämpötilan noustessa diffuusiokerroin kasvaa. Lämpötilan noustessa 100°C -> 170°C diffuusionopeus nelinkertaistuu ja reaktionopeus 900-kertaistuu. /4,7/

2.2 Kemialliset reaktiot

Sulfaattikeitossa on viisi kokonaisreaktion kannalta tärkeää osavaihetta.
/4/

1. Kemikaalien siirtyminen hakkeeseen penetraation ja diffuusion avulla
2. Aktiivisten kemikaalien adsorptio keittohakkeen pintoihin
3. Keittoliuoksen ja puun väliset kemialliset reaktiot
4. Muodostuneiden reaktiotuotteiden poistaminen
5. Adsorboituneiden reaktiotuotteiden siirtyminen hakkeen ulkopintoihin diffuusion avulla

2.3 Ligniinin liukeneminen

Ligniini on kemialliselta rakenteeltaan hyvin epäsäännöllinen makromolekyyli. Ligniinin perusrakenteen muodostavat fenyylipropaaniyksiköt, jotka ovat liittyneet toisiinsa eetteri- ja hiili-hiili-sidoksilla. Luonnossa esiintyvät ligniinit voidaan jakaa havupuu-, lehtipuu- ja ruoholigniineihin./2/

Ligniinin liukeneminen jakautuu reaktionopeuksiltaan ja selektiivisyydeltään karkeasti ottaen kolmeen vaiheeseen. Näitä vaiheita kutsutaan uutos-, bulkki- ja jäännösdelignifointivaiheeksi. /4/

2.3.1 Uutosdelignifointivaihe

Uutosdelignifioinnissa tapahtuu keittoliuoksen imeytymistä hakkeeseen. Bulkkidelignifointi alkaa 140 °C asteessa, jota ennen tulisi hakkeen sisäosienkin olla kemikaalien vaikutuksen alaisena keiton selektiivisyyden takaamiseksi.

Lämpötilan nostovaiheessa penetraatio on vallitseva aina 140 °C asti, mutta samalla tapahtuu myös keittokemikaalien diffuusiota. Lämpötilan kohotessa diffuusiosta tulee vallitseva. Kemikaalit kuluvat uutosvaiheessa nopeasti hiilihydraattireaktioihin, etenkin hemiselluloosan purkautumisreaktioihin, asetyyliryhmien lohkeamiseen ja happamien ryhmien neutralointiin.

Ennen delignifiointivaiheen alkua näihin reaktioihin kuluu jopa 70% alkalista. Uutosvaiheessa puun sisältämästä ligniinistä liukenee 15-25 % puun ominaisuuksista ja keitto-oloista riippuen. Hakepaksuuden ja pituuden kasvu hidastaa uutosvaiheen delignifiointia. /4,8/

Yhtälö 4 kuvaa ligniinin liukenemisnopeutta uutosdelignifiointivaiheessa.

$$\frac{dL}{dT} = 39,2T^{-1/2}e^{\left(-\frac{4807,7}{T}\right)}L \quad (4)$$

jossa

L	=	ligniinipitoisuus %
T	=	lämpötila, K
t	=	aika, min

Delignifioitumisnopeus ei ole riippuvainen hydroksidi- eikä vetysulfidi-ionikonsentraatiosta, eikä ylimääräinen alkali täten nopeuta delignifioitumista. Alkalia on kuitenkin oltava riittävästi, ettei pH laske alle 12. /9/

2.3.2 Bulkkidelignifiointi

Bulkkidelignifiointi alkaa lämpötilan noustua 140 °C:een, jonka jälkeen ligniinin liukenemisnopeus kasvaa voimakkaasti ja on suurimmillaan keittolämpötilassa. Bulkkivaiheessa poistuu 70- 80 % ligniinistä ja delignifiointinopeus on suuri verrattuna uutos- ja jäännösdelignifiointivaiheeseen.

Ligniiniä liukenee aluksi sekundääriseinämän S₂-kerroksesta, mutta keiton edistyessä enenevässä määrin myös välilamellista. Bulkkidelignifiointi on riippuvainen keittoliuoksen hydroksidi ja vetysulfidi-ioniväkevyyksistä sekä lämpötilasta. Keittoliemen ligniinipitoisuuden ja hakepaksuuden kasvu hidastavat delignifiointia. Bulkkidelignifiointi jatkuu havupuuta keitetäessä aina kappalukuun 35 – 40 asti, jolloin ligniinistä on poistunut noin 90 %. /4/

Alkaliväkevyyden ja sulfiditeetin pysyessä vakiona ligniinin liukeneminen tapahtuu bulkkidelignifiointivaiheessa seuraavan kaavan mukaan: /9/

$$-\frac{dL}{dt} = kCiL \quad (5)$$

jossa

L = massan ligniinipitoisuus hetkellä t (% alkuperäisestä puusta)

Ci = alkuperäinen tehollinen alkaliväkevyys (g/l)

t = keittoaika

k = vakio, joka riippuu lämpötilasta Arrheniuksen yhtälön mukaan

$$k = Ae^{-E/RT} \quad (6)$$

jossa

E = aktivoitumisenergia, J/g mol, kokeellisesti saatu arvo 130 Kj/mol

R = yleinen kaasuvakio, J/g mol

T = lämpötila, K
A = Reaktion taajuustekijä

2.3.3 Jäännösdelignifiointi

Jäännösdelignifiointivaiheen reaktionopeus on huomattavasti pienempi ja hiilihydraattien liukenemisnopeus ylittää ligniinin liukenemisnopeuden. Tässä vaiheessa hydroksidi-ioniväkevyyden kasvu lisää delignifiointinopeutta, kun taas hakepaksuuden ja keittonesteen ligniinipitoisuuden kasvu hidastaa sitä. /4/

2.4 Alkaliannos ja sulfiditeetti

Alkaliannos ja sulfiditeetti määrittävät keittoliuoksen hydroksidi ja vetysulfidi-ionien pitoisuuden. Näitä pitoisuuksia nostamalla voidaan nopeuttaa delignifioitumista, jolloin keittoaika lyhenee./9/

Ligniinin liukeneminen nopeutuu erityisesti alkaliannosta nostamalla. Alkaliannoksen nostaminen 17 % → 25% NaOH:na laskee keittoaikaa 120 minuutista 40 minuuttiin kappatasolla 35-40. Annoksen nostaminen laskee toisaalta saantoa. Alkalikonsentration noston on todettu ECF-valkaistulla massalla nostavan repäisylujuutta, bulkkia ja valonsirontaominaisuuksia./9/

Yleensä tehollisena alkalina käytetään 14–20% NaOH:na kuivasta puusta. Jos annosta lasketaan liikaa, pH laskee keiton lopussa alle 12, jolloin ligniini saostuu takaisin kuituun. Liian suuri alkaliannostoisaalta liuottaa hiilihydraatteja alentaen saantoa. Alkalin tarve vaihtelee puulajien välillä rakenne-eroista johtuen. /4/

Sulfiditeetin nostamisen on todettu nopeuttavan delignifioitumista erityisesti silloin kun vaikuttavan alkalin määrä on alhainen. Sulfiditeetin nosto on selektiivisempi tapa nopeuttaa ligniinin liukenemista koska sillä ei ole merkittävää vaikutusta hiilihydraattien pilkkoutumiseen. Korkea hydroksidi-ionikonsentraatio nopeuttaa hiilihydraattien pilkkoutumista. Sulfiditeetin nostolla on vaikutusta saantoon erityisesti silloin kun alkaliannos on pieni. Maksimiannos sulfiditeetille on n. 40%.Tämän rajan ylitys ei ole saannon kannalta hyödyllistä. Lisäksi talteenoton korroosio-ongelmat lisääntyvät. /7,9/

2.5 Neste-Puusuhte

Sulfaattikeitossa on kaksi päätekijää: Keittoneste ja puuhake. Keitossa oleva nestemäärä on veden, lauhteen, valkolipeän ja mustalipeän summa. Kuivan puun ja nesteen suhde on syrjäytyseräkeitossa yleensä 4,5-5. Puun ja nesteen suhdetta voidaan vaihdella puun käsittelemiseksi tarvittavan alkalin ehdoilla. Alhainen nestemäärä on lämpötalouden kannalta parempi, mutta liian pieni nestemäärä huonontaa keittimen kiertoja ja johtaa mahdollisesti tyhjennysongelmiin. Korkea neste-puusuhte parantaa imeytyksen ja lämmityksen tasaisuutta. /3,10/

Eräkeitossa valkolipeän tarve on pienempi kuin se tilavuus, joka tarvitaan hakkeen peittämiseen. Tästä johtuen valkolipeän tarve lasketaan sen väkevyydestä, vaadittavasta neste-puusuhteesta ja oletetusta keittimen puutäytöstä. Tarvittavan neste-puusuhteen saamiseksi lisätään mustalipeää tarvittava määrä. Mustalipeälaimennuksella on useita etuja. /4/

- Valkolipeän väkevyyys pienenee vähentäen selluloosan purkautumista
- Laimennus tapahtuu mustalipeän haihdutustarvetta lisäämättä

- Mustalipeän jäännöskemikaalit tulevat käytetyksi
- Suurempi neste-puusuhte varmistaa, että kaikki hakkeet tulevat imeytysliuoksen kanssa kosketukseen.

Käytännössä mustalipeän käytöllä ei ole havaittu haittavaikutuksia. Kun mustalipeäosuus säilyy alle 50 % ja kohtuullinen alkalijäännöstaso säilyy keiton loppuun asti, niin mustalipeälisäyksen vaikutus pysyy erittäin pienenä. /4/

2.6 Hiilihydraattien reaktiot

Vaikka keiton ensisijainen tarkoitus on ligniinin poistaminen hakkeesta, samalla myös osa hiilihydraateista liukenee. Galaktoglukomannaania liukenee keiton alussa, ja kun keiton lämpötila on noussut 130 °C:n, hajoaa galaktoglukomannaaninopeasti ja kokonaan. Keittolämpötilan noustessa 100 °C → 130 °C kolme neljäsosaa liukenevista hiilihydraateista on glukomannaania. Saavutettaessa 130 °C lämpötila glukomannaani on stabiloitunut.

Ksylaania liukenee vain vähän alle 140 °C lämpötilassa. Alkaliannoksen nosto nopeuttaa ksylaanin liukenemista ja nostaa liukenevan ksylaanin kokonaismäärää. Keittolämpötilassa liukeneminen hidastuu ja keiton loppuvaiheissa tapahtuu sorptiotakuidun pintaan. Arabinosin liukeneminen seuraa ksylaanin liukenemista. Sulfaattikeittoliuoksen sulfidi vaikuttaa vain vähäisessä määrin hiilihydraattien liukenemiseen keiton aikana. /4/

Sulfaattikeitossa liukenee 10-15% selluloosasta, mikä vastaa 4-5% puusta laskettuna. Selluloosan purkautuminen alkaa 120-130 °C lämpötilassa ja lisääntyy lämpötilan noustessa sekä hidastuu vähitellen jälleen keittolämpötilan saavutettua maksiminsa. Purkautuminen tapahtuu erityisen voimakkaasti jäännösdelignifiointivaiheessa, jolloin selluloosa liukenee yhdessä kristalliittien pinnalle tarttuneen ligniinin kanssa. /4/

Taulukko 2. Puuraaka-aineen ja sulfaattisellun hiilihydraattikoostumus/4/

	Puuraaka-aine		Sulfaattiselluloosa	
	Mänty	Koivu	Mänty	Koivu
Selluloosa	38-40%	40-41%	35 %	34 %
Glukomannaani	15-20%	2-5%	5 %	1 %
Ksylaani	7-10%	25-30%	5 %	16 %
Muut hiilihydraatit	< 5 %	< 4 %	-	-
Ligniini	27-29%	20-22 %	2-3 %	1,5-2%
Uuteaineet	4-6%	2-4 %	4-6 %	< 0,5%

2.7 Uuteaineiden reaktiot

Uuteaineet ovat nimitys laajalle ryhmälle erilaisia yhdisteitä. Uuteaineiksi voidaan määritellä kaikki puun komponentit, jotka ovat liukoisia johonkin orgaaniseen liuottimeen tai veteen. Uuteaineen määrä ja koostumus vaihtelevat suuresti yksittäisten puiden välillä. Männyssä uuteaineita on tyypillisesti 2,5-4,5%, kuusessa 1,0-2,0 % ja koivussa 1,0-3,5%. /2/

Puun uuteaineet voidaan jakaa kolmeen ryhmään, jotka ovat hartsi- ja rasvahapot sekä ns. neutraaliaines. Hartsihapot ovat polysyklisiä yhdisteitä. Rasvahapot ovat pitkiä hiilivetyketjuja, joiden päässä on karboksyyli-ryhmä. Neutraalit uuteaineet ovat enimmäkseen terpeenejä tai alkoholeja, jotka eivät sisällä happoryhmää./11/

Puun terpeniinit tislautuvat erilleen puusta sulfaattikeiton alkuvaiheissa, jonka jälkeen ne poistuvat suurimmaksi osaksi kaasaushöyryjen mukana. Nämä voidaan ottaa helposti talteen lauhteena eli raakatärpättinä.

Rasva ja hartsihapot saippuoituvat alkalin vaikutuksesta vastaaviksi natriumsuoloiksi eli raakasuovaksi, jotka liukenevat nopeasti keittonesteseen.

Kun saippuanmuodostus on kohonnut riittävästi, alkavat nämä saippuat liuottaa muita, sinänsä liukenemattomia uuteainekomponentteja, kuten estereitä ja saippuoitumattomia jakeita. Reaktionopeus riippuu reaktiokykyisen pinnan suuruudesta, neste-puusuhteesta, alkaliväkevyydestä saippuoitumisasteesta lämpötilasta ja uuteaineen viskositeetista. Uuteaineet poistuvat havupuusta keiton ensimmäisen 15-20 minuutin aikana. /4/

Useimmissa pohjoismaisissa tehtaissa käytetään koivukeitossa tehtaan omia havupuusta saatavia saippuoituvia yhdisteitä, kuten havumustalipeää, mäntyöljyä ja hartsisaippuaa. Muualla maailmassa, missä havupuuta ei käytetä raaka-aineena sellunvalmistuksessa, joudutaan muualta ostamaan jalostettuja hartsituotteita tai käyttämään vaihtoehtoisia tuotteita, esimerkiksi palmuöljystä saatavaa glyseriiniöljyä. /7,12/

2.8 H-tekijä

Keiton edistymistä mitataan ns. H – tekijällä, joka ottaa huomioon lämpötilan ja keittoajan yhteisvaikutuksen. Tyypillinen keitto kestää 1-2 tuntia 160-180°C lämpötilassa. Kun sulfiditeetti ja alkaliannos pysyvät samoina, H-tekijän avulla voidaan ennustaa delignifioituminen riittäväällä tarkkuudella. H-tekijä on tehtaasta riippuen yleensä 1000-2000 ollen lehtipuilla alempi kuin havupuilla. /5/

H – tekijä kertoo ligniinin liukenemisen suhteellisen nopeuden ja on riippuvainen keittotekijästä. Ligniinin liukenemisnopeus on koko ajan verrannollinen puussa vielä sillä hetkellä olevan liukenemattoman ligniinin määrään. H-tekijä on hyvin voimakkaasti riippuvainen lämpötilasta. H-tekijä on määritelty niin että 1 tunti 100 °C lämpötilassa vastaa H-tekijän nousua yhdellä pykälällä. /13,4/

H-tekijä lasketaan seuraavalla yhtälöllä:

$$H = \int_0^t e^{\left(43,2 - \frac{16115}{T}\right)} dt \quad (7)$$

Missä t on aika ja T lämpötila./13/

3 ERÄKEITTO

Modernin eräkeittämön peruseriaate on varastoida keitossa käytettyjä prosessinesteitä ja käyttää niitä uudelleen seuraavissa keitoissa. Nesteitä varastoidaan tankkifarmissa eri lämpötiloissa, paineessa ja kemiallisessa konsentraatiossa riippuen nesteen tulevasta tai menneestä käyttötarkoituksesta. /14/

Eräkeittoprosessissa sellu valmistetaan useissa panoskeittimissä. Tyypillinen syrjäytyseräkeittäjä sisältää keittimien lisäksi annostelijat, tankkifarmin ja puskusäiliön. Haketäyttö, lipeätäyttö, lämmitysvaihe, keitto, syrjäytys ja pusku vaihtelevat keittimissä vuorollaan. Keittimiä on normaalisti vähintään neljä, ja niiden koko on jopa 400m³ /13,14/

Eräkeitto oli 1950- luvulle asti ainoa keittomenetelmä. Energiatehokkaampi vuokeitto syrjäytti eräkeittämön 1970- luvulla. Energiatehokkuudessa vuokeittämölle pärjääviä eräkeittäjäitä kehitettiin 80-luvun aikana. Parannettuun energiatehokkuuteen päästiin liemenvaihdolla jonka huomattiin vaikuttavan positiivisesti myös keittotulokseen./13/

3.1 Lujuussaanto pitkäkuituselluilla

Pitkäkuituisia selluja käytetään yleensä paperiin antamaan lujuutta. Lisättäessä sellun vetolujuutta jauhamalla joutuu yksittäisten kuitujen lujuus koetukselle, jolloin se useimmiten huononee ja sellun repäisylujuus myös laskee. Siksi kemiallisia selluja luokitellaan sen perusteella kuinka hyvä repäisylujuus saavutetaan tietyssä vetolujuudessa (Lujuussaanto).

Perinteinen havusulfaattierä ja vuokeitto antavat suunnilleen samanlaisen lujuussaannon, keskiarvon ollessa noin 75%, kylmäpuskutyyppinen syrjäytyseräkeitto antaa noin 80% ja SuperBatch eräkeitto noin 90 – 100%

lujuussaannon. /10/

3.2 Konventionaalinen eräkeitto

Perinteinen eli konventionaalinen eräkeitto on syrjäytynyt modernimpien keittomenetelmien tieltä. Perinteisessä eräkeitossa on seuraavat vaiheet:

- Haketäyttö
- Hakkeen esihöyrytys
- Mustalipeä ja valkolipeätäyttö
- Lämmitys
- Keitto
- Kaaus ja pusku

Perinteisessä eräkeitossa etuina ovat tuotannon joustavuus ja helppo operointi. Haittoina onmm. suurempi höyryn kulutus ja massan huonompi lujuus moderneihin keittomenetelmiin verrattuna. Muun muassa kappahajonnan raportoidaan olevan perinteisellä eräkeitämöllä +/- 5 yksikköä ja SuperBatch- keittämöllä +/-2 yksikköä tavoitekapan ollessa 30. /9,13/

3.2.1 Syrjäytyseräkeitto

Syrjäytyseräkeitto perustuu edellisten keittojen lämmön hyväksikäyttöön seuraavien keittojen lämmityksessä. Samalla mustalipeän jäännöskemikaaleja hyödynnetään imeytyksessä. Lisäksi syrjäytyseräkeitossa keittovaihe katkaistaan pumppaamalla keittimen pohjaan viileämpää pesemön suodosta.

Tämä menetelmä vaikuttaa positiivisesti massan laatuun verrattuna konventionaaliseen eräkeittoon, jossa massan puskeminen kuumana aiheuttaa kuituvaurioita.

Syrjäytyseräkeiton energiankulutuksen väitetään olevan samalla tasolla

vuokeiton kanssa. /9,13/

Syrjäytyseräkeitoissa on yleensä erotettavissa seuraavat vaiheet: /13/

- Haketäyttö
- Lämminmustalipeätäyttö
- Kuumamustalipeätäyttö
- Valkolipeätäyttö
- Lämmitys
- Keitto
- Syrjäytys
- Purku

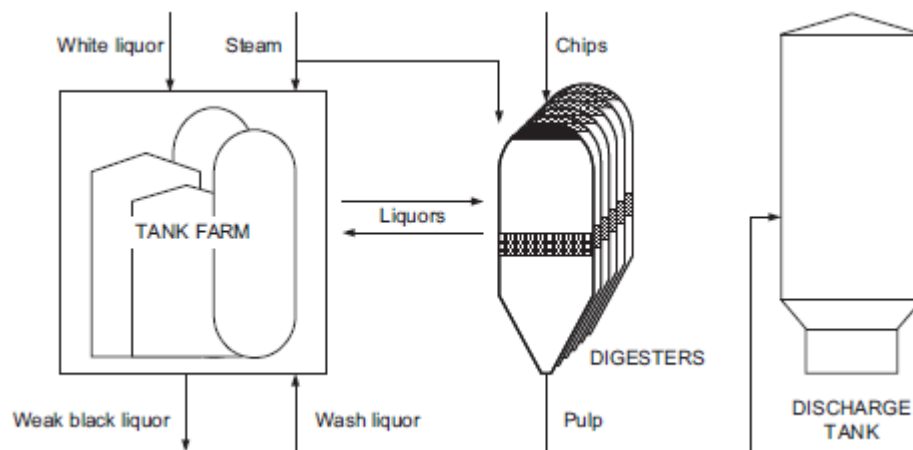
Uusia, moderneja keittomenetelmiä perinteisen (konventionaalinen) keittomenetelmän lisäksi ovat RDH, SuperBatch, ColdBlow ja EnerBatch.

/14,15/

Keittomenetelmien prosessit eroavat toisistaan alla olevan kaavion mukaisesti.

Taulukko 3, Eri keittomenetelmien vertailua /15/

Conventional	RDH	SuperBatch	Cold Blow	Enerbatch
Haketäyttö	Haketäyttö	Haketäyttö	Haketäyttö	Haketäyttö
VL ja ML täyttö	LML- Täyttö (100-130 °C)	LML-täyttö (90 °C)	VL ja KML täyttö	VL täyttö (70-90 °C)
lämmitys epäsuoralla höyryllä	KML ja KVL täyttö	KML-syrjäytys	Lämmitys	KML ja KVL syrjäytys
		KML ja KVL syrjäytys	Keitto, vaihe 1	
	Lämmitys höyryllä			Lämmitys höyryllä
		Lämmitys höyryllä		
			KML/VL syrjäytys	
Keitto	Keitto			Keitto
		Keitto	Keitto	
	Syrjäytys SL	Syrjäytys SL	Syrjäytys SL	Syrjäytys SL
Kuuma pusku	Pusku pumpulla	Pusku pumpulla	Pusku pumpulla	Pusku pumpulla



Kuva 2: Eräkeittämön periaatepiirros /4/

Syrjäytyseräkeitin



Kuva 3, Syrjäytyseräkeitin

Syrjäytyskeittotekniikalla voidaan tuottaa massaa joustavasti laajalla kappa-alueella muuttamatta laitteistoa. Syrjäytystekniikan muita vahvoja puolia ovat muun muassa seuraavat asiat: /10/

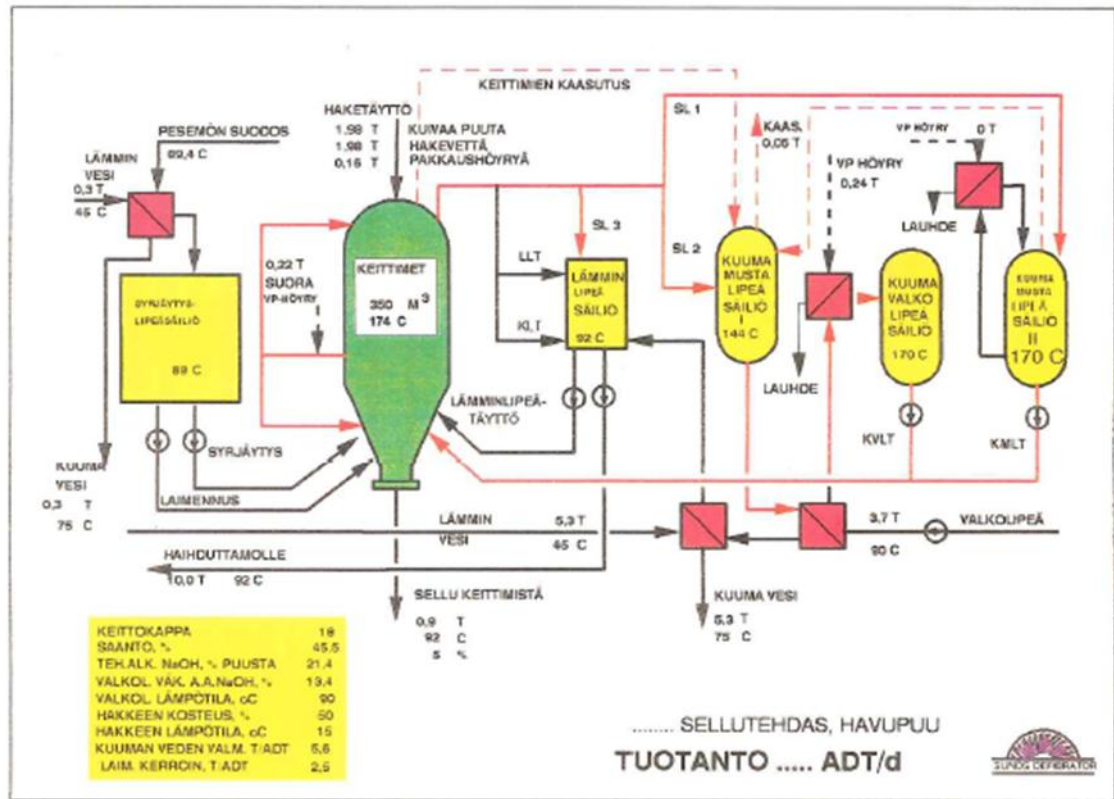
- Hakkeen laatuvaatimukset ovat suhteellisen pienet
- Käyttöhäiriö pysäyttää tavallisesti vain yhden keittimen
- Kapasiteetin laajennus mahdollista suhteellisen pienin investoinnein
- Laadun ja kapasiteetin muutos helppoa

Jotta lujitemassan keitossa saavutetaan paras keiton selektiivisyys, tulee seuraavien periaatteiden täytyä. /16/

- Vaikuttavan alkalipitoisuuden tulee olla keiton alussa matala ja se tulee pitää suhteellisen tasaisena keiton edistyessä.
- Sulfidipitoisuuden tulee olla niin korkea kuin mahdollista erityisestiuutosdelignifikaation aikana ja bulkkidelignifikaation alussa. Tämä mahdollistaa nopeamman ja täydellisemmän ligniinin hajoamisen näiden vaiheiden aikana.
- Liunneen ligniinin ja natriumionien pitoisuus liemessä tulee pitää matalana bulkki- ja jäännösdelignifiointi vaiheissa. Tämä mahdollistaa ligniinin poiston ja diffuusioprosessien paranemisen.
- Lämpötilan kasvattaminen lisää enemmän polysakkaridien kuin ligniinin pilkkoutumista, joten matala keittolämpötila on selektiivisempi ligniinin poiston suhteen.
- Vältetään rasittamasta kuitua mekaanisesti erityisesti purun aikana. Keitin tulee purkaa alle 100 °C lämpötilassa.

4 SUPERBATCH KEITTO

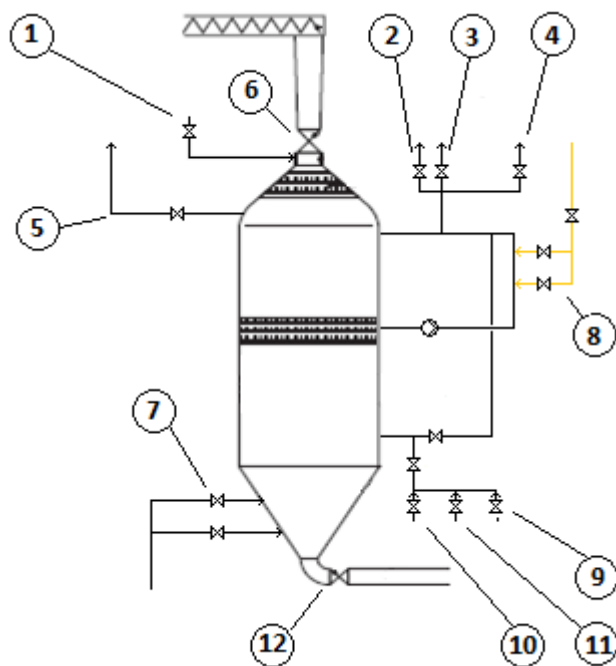
SuperBatch eräkeittäjä sisältää tarvittavat laitteet, jotta keittimet voivat suoriutua keittokierrosta mahdollisimman nopeasti ja oikea-aikaisesti.



Kuva 4. Keittämön päälaitteet

4.1 Keittimet

Uudet SuperBatch eräkeittimet ovat kooltaan yleensä 300-400m³ ja ne on valmistettu yhdistelmäteräksestä, jolloin keitin on suojattu sisäpuolelta haponkestävällä teräksellä joka on hitsattu yhteen hiiliteräksen kanssa. SuperBatch- keittimen pääosat kuvassa 4./10/



Kuva 5. SuperBatch- keittimen pääosat

1. Pakkaushöyrylinja
2. Linja KML akulle
3. Linja lämminlipeäsäiliölle
4. Linja syrjäytyslipeäsäiliöön
5. Ilmanpoisto
6. Kansiventtiili
7. Laimennuslinjat
8. Höyrylinjat
9. KML/VLM linja
10. LLT linja
11. Syrjäytyslinja
12. Puskulinja

4.2 Tankkifarmi

Yksilinjaisen SuperBatch-keittämön tankkifarmi sisältää syrjäytyslipeäsäiliön, lämminlipeäsäiliön, suovanerotussäiliön, kaksi

kuumamustalipeäakkuaja lämminmustalipeäakun.
Kuumamustalipeäakkuja käytetään syrjäytetyn kuuman mustalipeän varastointia varten. Toiseen akkuun syötetään heti loppusyrjäytyksen alussa saatava kuumin ja kuiva-ainepitoisuudeltaan tasalaatuisin mustalipeäjae. Tätä mustalipeää käytetään muiden keittojen KML-täyttöihin. Mustalipeäjae, jota ei tarvita seuraavassa keitossa, johdetaan toiseen mustalipeäakkuun. Tämä mustalipeäjae on lämpötilaltaan ja kuiva-ainepitoisuudeltaan epähomogeenisempi kuin toisen akun jae. /9/

Kaksiakkujärjestelmän etuna pidetään sitä, että kuumamustalipeä säilyy tasalaatuisempana yksiakkujärjestelmään verrattuna. KML-akku kahdesta johdetaan virtaus lämminlipeäsäiliöön. Virtausta ylläpidetään paineen avulla ja se jäähdytetään lämmönvaihtimessa alle 100 °C:n. Mäntysuovan erotus hoidetaan lämminlipeäsäiliöstä suovanerotussäiliöön. Osa mustalipeästä johdetaan suovanerotussäiliön kautta kuitusuotimien läpi haihduttamolle./9/

Havusulfaattisellun valmistukseen suunnitellussa superbatch keiton K-mallissa imeytyslipeän kalsium deaktivoidaan tekemällä alkusyrjäytys imeytyslipeällä. Vastaavasti pesemön suodosta käytetään imeytykseen./19/

4.3 Lämmönvaihtimet

Toisesta kuumalipeäakusta pumpataan lipeää jatkuvatoimisesti putkilämmönvaihtimien kautta lämminlipeäsäiliöön. Saatavalla lämmöllä kuumennetaan valkolipeää ja valmistetaan kuumaa vettä. Tästä lipeäfraktiosta erotetaan suopa pois. Riippuen määrästä, mikä syrjäytetään, saadaan keittimien mustalipeän sisältämästä lämmöstä suurin osa talteen. /11,10/

4.4 Prosessikaasujen käsittely

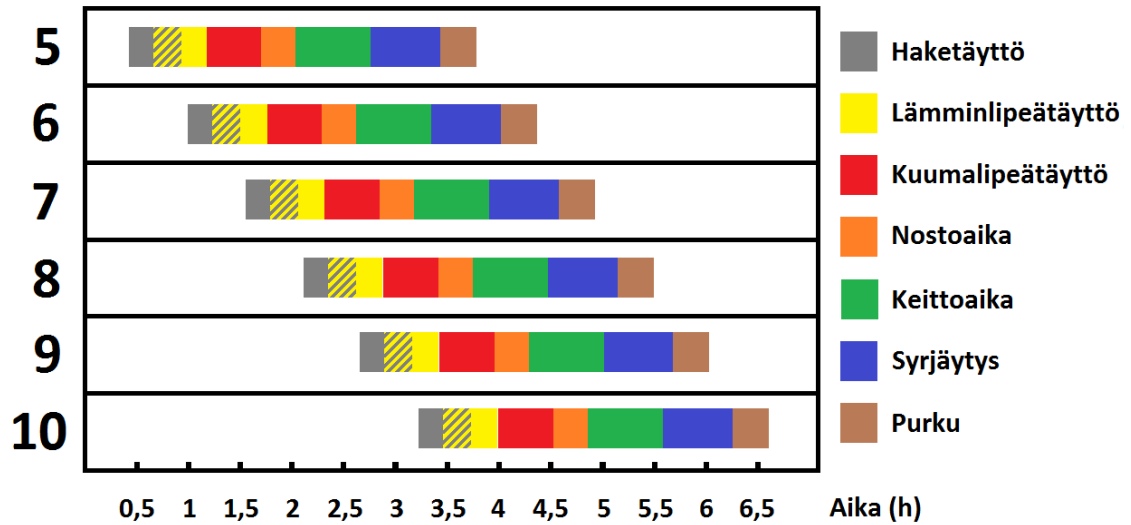
Kaikki tärpättikaasaukset suoritetaan kylmemmän kuumalipeäakun kautta tärpättisysteemiin. Akusta kaasataan jatkuvasti tärpättilinjaan. Ilma ja tärpätinsekainen vesihöyry poistetaan keittimestä kaasaussihdin kautta akkuun, josta kaasu johdetaan edelleen lipeänerottimeen kaasutuksen mukana seuranneiden lipeäpisaroiden erottamista varten. Tämän jälkeen höyry johdetaan kaksivaiheiseen tärpättilauhduttimeen, missä lauhtuva höyry tiivistyy nesteeksi luovuttaen samalla lämpöä jäähdytysveteen. Ensimmäisestä vaiheesta otetaan talteen lauhtumaton jae, joka johdetaan tärpättipesuriin.

Lauhduttimissa tiivistynyt neste sekä tärpättipesurin ylimääräinen vesi johdetaan erotusastiaan, jossa tärpätti kevyempänä nousee pinnalle ja josta se erotetaan ja otetaan talteen. Tärpättisysteemistä tuleva likaislahde on ainoa SuperBatch- keittämössä syntyvä likainen laude ja sitä syntyy 0,1-0,2m³/ ADT. /10/

4.5 Keittokierto

Keittokierto koostuu seitsemästä pääsekvenssistä joiden sisällä on tarvittava määrä askelia, joilla sekvenssin vaatimat toiminnot suoritetaan.

Keitin



Kuva 6. Tyypillinen keittokierto.

4.5.1 Haketäyttö

Keitinkierto alkaa keittimen haketäytöllä, jossa hihnakuuljettimet ja ruuvit kuljettavat hakkeen keittimeen kauempana sijaitsevalta hakekentältä. Hakekentällä voi olla useita eri hakkeita sisältäviä kasoja jolloin eri hakelaatuja voidaan syöttää kuuljettimelle halutussa suhteessa.

Hakelastut pudotetaan ruuvilta keittimeen, jonka jälkeen keitin täyttyy hakkeella pakkaushöyryä apuna käyttäen. Pakkaushöyryn tarkoituksena on tehostaa pakkausta ja esilämmittää hake, jolloin hakkeesta poistuu ilmaa. Höyryn käyttö lisää keittimeen mahtuvaa hakkeen määrää jopa 20 % ja höyryä kuluu noin 200kg/ADT.

Höyrysuihkujen tulee olla tarpeeksi voimakkaita, jotta jokainen erillinen jae ja ilma-höyryseos saadaan kiivaaseen pyörivään liikkeeseen. Hakkeelle tulisi saada mahdollisimman suuri nopeus, jolloin hakepatsaaseen kohdistuu mahdollisimman suuri voima.

Myös hakkeen liikkuminen sivuttain on tärkeää, jotta vältetään keon muodostuminen keittimen keskusta. Tällä tavoin hakepalanen saadaan laskeutumaan lappeelleen saavuttaessaan hakepatsaan pinnan. Näin ilmaväli jää huomattavasti pienemmäksi verrattuna tilanteeseen jossa pakkaushöyryä ei käytetä.

On havaittu, että svenssauspaineen nostaminen tasaisesti hakepaineon suhteen alueella 50- 350 kPa voi lisätä keittimeen mahtuvan hakkeen määrää jopa 10 % tasaisella 180 kPapaineella suoritettavaan pakkaukseen verrattuna.

Pakkaushöyryn määrä tulisi optimoida siten, että kaikissa tilanteissa saataisiin hakepalasta kohden mahdollisimman suuri höyrymäärä kuitenkin niin, että höyry ehtii lauhtua. Keittimen pakkaukseen käytetyn höyryn tulee siis lauhtua niin paljon että ylöspäin suuntautunut höyryvirtaus ei häiritse alaspäin putoavaa haketta. Haketäyttö ja lämminlipeätäyttö ovat osittain päällekkäin. Haketäytön tyypillinen kesto aika on 25-30min.

SuperBatch- eräkeitto on varsin tunnoton erilaisille hakelaaduille, joten huonolaatuistakin haketta voidaan laadun kustannuksella keittää ilman prosessissa esiintyviä vaikeuksia.

/9,10,14/

4.5.2 Lämminmustalipeätäyttö (Imeytys)

Lämminlipeätäytössä keittimeen syötetään lämmintä lipeää ja pesemön suodosta lämminlipeäsäiliöstä nestetaseesta riippuen. Annostelu tapahtuu keittimen pohjasta ja keitintä täytetään niin kauan, että keitin on hydrostaattisesti täynnä. Lämmintä mustalipeää aletaan syöttää keittimeen ennen kuin keitin on täynnä haketta kierron nopeuttamiseksi. /10,14/

Nestettä syötetään keittimeen hieman enemmän kuin sinne mahtuu jotta

varmistutaan että se on täynnä. Ylimenevä lipeä kierrätetään takaisin ilmanpaineiseen mustalipeäsäiliöön. Neste-puusuuhde on korkeampi kuin perinteisessä eräkeitossa, n. 4,5-5,5:1/10,14/

Lastut lämpenevät tämän vaiheen aikana ja jäännösilma poistuu niistä lipeän imeytyessä hakkeeseen. Imeytysvaihetta tehostetaan pumpun tuomalla ylipaineella täytön lopussa noin 300 kPa paineeseen. Tämän jälkipaineistuksen aikana hakkeeseen imeytyy mustalipeää vielä n. 5-10% keittimen tilavuudesta. Hyvä imeytys on avain keiton tasaisuuteen. Keittimen sisällön lämpötila nousee lämminlipeäimeytyksessä tasolle 80-90°C /10,11,14,16/

Lämminmustalipeän lämpötila on noin 90°C ja täyttö voidaan aloittaa kun haketta on keittimessä turvallinen määrä, etteivät hakkeet kellu keittimessä. /14/

4.5.3 Kuumamustalipeätäyttö

Imeytysvaiheen jälkeen keittimessä oleva lipeä syrjäytetään kuumamustalipeällä. Keittimen sisällön noustua vähintään 140°C:n lämpötilaan aletaan kuumamustalipeäputkistoon ajaa kuumaa valkolipeää.

Ideaalitapauksessa kuumalipeä puskee lämpimän mustalipeän tulppavirtauksena tieltään. Massan laadun kannalta on erityisen tärkeää että kuumamustalipeävirtaus ei kanavoidu, jolloin osa lämpimästä lipeästä jäisi vaihtumatta.

Kuumamustalipeän virtausnopeudella ei ole havaittu olevan yhteyttä kanavoitumiseen tai syrjäytyvään nesteeseen sekoittumiseen. Kuumamustalipeätäytön tarkoituksena on tuoda keitossa tarvittavaa energiaa ja keittokemikaalia keittimeen. Keittimestä syrjäytetty kemikaali

siirretään joko lämminlipeäsäiliöön tai kuumamustalipeä akkuun lämpötilariippuvaisesti. Keitin on lähestulkoon keittolämpötilassa syrjäytyksen jälkeen. /9,10,14/

4.5.4 Nosto/Keitto

Lopullinen keittolämpötila saavutetaan syöttämällä keittokierto suoraan höyryä. Jotkut tekniikat sallivat alkalitason säädön keitinkierron aikana. Keittovaiheessa keitin on tietyssä lämpötilassa ja halutun H – tekijän annetaan kehittyä.

Keittolämpötilan saavuttamisen jälkeen höyryn syöttö lopetetaan, koska vapautuva reaktiolämpö ylläpitää keittimen lämpötilaa. Jos lämpötila tästä huolimatta laskee, lämmitetään keitin höyryllä tavoitelämpötilaan. Liemen kierrätystä jatketaan halutun H-tekijän saavuttamiseen saakka.

Keittonesteitä voidaan kierrättää keittimessä ottamalla nestettä keskeltä keitintä ja siirtämällä ne keittimen ala ja yläosaan. Ylä- ja alaosien välisen virtauksen suhdetta voidaan muuttaa kiertoputkistojen venttiilien kulmia muuttamalla. Keittoliemen kierrätystapa vaikuttaa merkittävästi keittimen kappahajontaan. Eräässä SuperBatch keittoa koskevassa tutkimuksessa tasaisin kappa saavutettiin virtausmallilla, jossa yläkierron venttiili oli täysin auki alakierroon venttiilin ohjauksen ollessa 65%.

/9,14/

4.5.5 Syrjäytys

Keittoreaktiot lopetetaan pesulipeällä tehtävällä syrjäytyksellä. Myös syrjäytyksessä pyritään saamaan mahdollisimman hyvä tulppavirtaus keittimeen jotta kuumamustalipeä voidaan kerätä mahdollisimman tarkasti akkuun korkeassa lämpötilassa. Kun syrjäytyslipeän lämpötila tippuu tietyn

rajan alle, voidaan virtaus kääntää kuumamustalipeäsäiliöön.

Syrjäytys on ensimmäinen ruskean massan pesuvaihe. Virtauksen rampitustasot vaikuttavat eniten syrjäytystehokkuuteen muiden vaikuttavien tekijöiden ollessa keiton kappaluku ja syrjäytyslipeän kuiva-ainepitoisuus. Kappaluvun aleneminen heikentää syrjäytystehokkuutta ja syrjäytyslipeän kuiva-ainepitoisuuden nosto lisää sitä. /11,14/

4.5.6 Pusku

Keiton viimeisenä vaiheena keitin tyhjennetään puskupumpulla massasta. Pumpputyhjennyksellä eliminoidaan ilmaan pääsevien hajukaasujen määrää koska pumppaus tapahtuu pinnan alle. Keittimen tyhjennyksen apuna käytetään keittimen alapäästä annosteltavaa pesuliipeää. Tavoiteltava sakeus purettavalle massalle on yleensä alhaisempi kuin 5 %. /9,14/

4.6 Automaatiojärjestelmä

Hallinnassa oleva eräkeitäjä tuottaa tasalaatuista massaa mahdollisimman pienellä raaka-ainemäärällä. Eräkeitäjäprosessin hallinta voi olla vaikeaa, ellei mahdotonta ilman optimointisovellusta. Keiton onnistuminen vaikuttaa muiden osaprosessien toimintaan.

Keiton automaatiolle on useita samanaikaisia tavoitteita tasalaatuisen massan valmistamiseksi. Olosuhteiden tulee olla vakioita ja niiden tulee olla toistettavissa keitosta toiseen. Keittimet tulee jaksottaa keskenään tuotantotavoitteen ja rajoittavien resurssien mukaan. Käyttöliittymän tulee myös olla riittävän selkeä, jotta se tukee työntekijöiden työtä. /1/

Automaatiojärjestelmät alkoivat yleistyä konventionaalisissa eräkeitöissä 1960 luvun lopussa ja jo 1970 luvun puolivälissä suurin osa eräkeitöistä oli tietokoneohjattuja. Sekvenssien hallinnasta on tullut entistä tärkeämpää

uusissa syrjäytyseräkeittämöissä. Lipeän saatavuus ja sopiva laatu eri keiton vaiheissa on erityisen tärkeää, joten tankkifarmin hallinnasta on tullut kriittinen tekijä.

Keittämön ohjausjärjestelmä on tärkeässä roolissa, jotta keittämö toimii moitteettomasti. Ohjausmielessä keittämö on yksilinjainen niin kauan kuin keittimien lukumäärä on korkeintaan kuusi. Mikäli keittimiä on enemmän, on keittämö jaettava kahteen linjaan sekvenssoinnin takia jolloin linjat toimivat täysin itsenäisesti. Viileämpi kml-akku voi tosin olla tällöin yhteinen.

Kummallakin linjalla on tällöin omat pumpput, mutta säiliöt ovat yhteiset. Tankkifarmin hallinnan kannalta kaksilinjainen eräkeittämö tuottaa haasteita koska ohjauksen pitää ottaa huomioon molempien linjojen tarpeet yhteisten säiliöiden osalta.

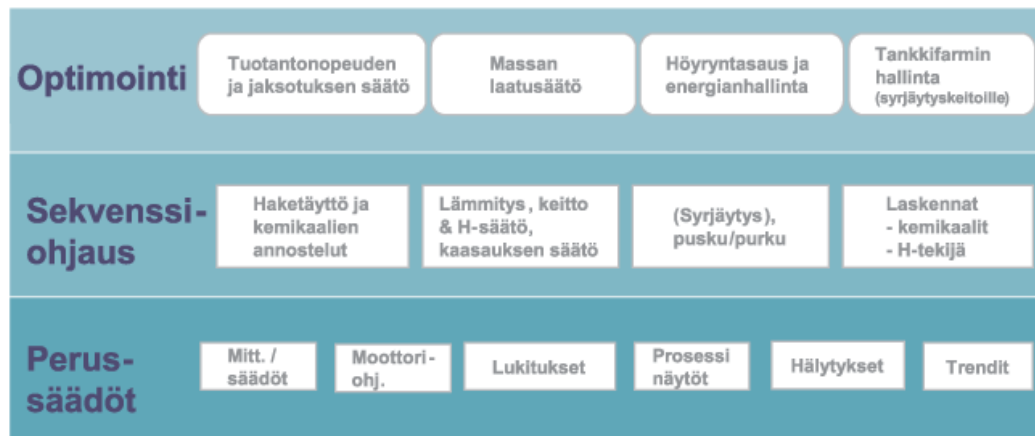
/7,10,17/

4.6.1 Ohjauksen perustoiminnot

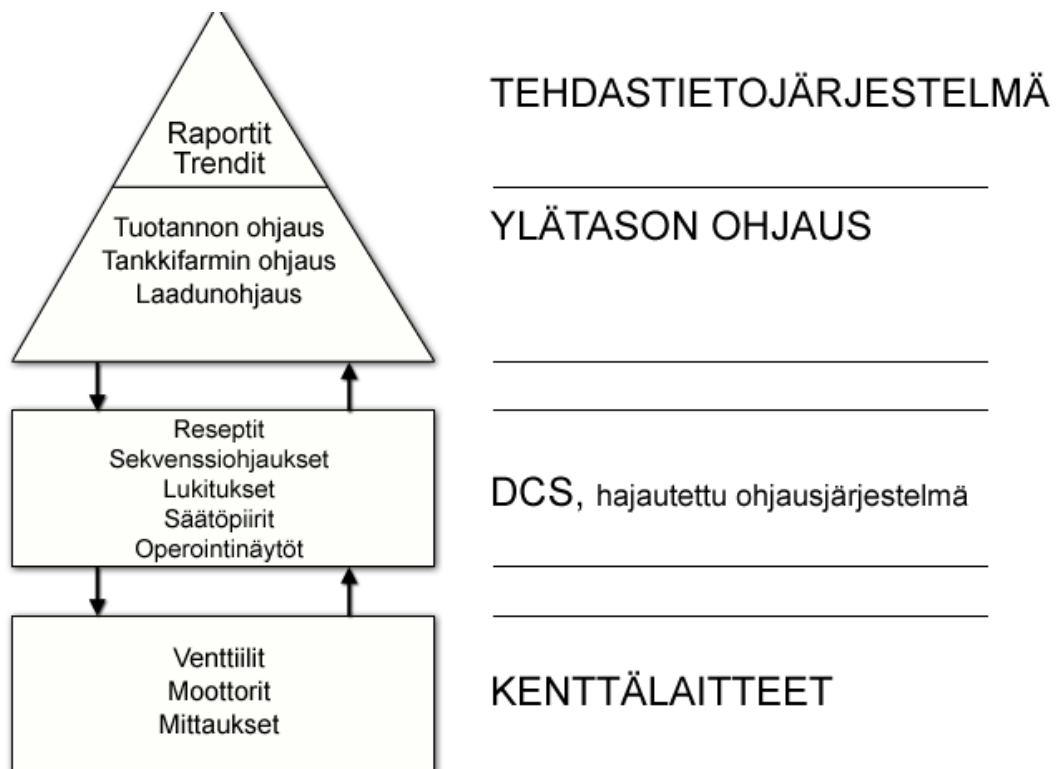
Ohjausjärjestelmään on automatisoinnin alusta alkaen kuuluneet seuraavat perustoiminnot: Tuotantotason kontrolli, keittokierron kontrolli, aikataulutus, höyryn määrän hallinta ja laadun hallinta. /17/

Automaatiojärjestelmä hoitaa toimilaitteiden toiminnan annettujen ehtojen mukaan. Järjestelmä jaetaansellutehtaassa perus- ja ylätasoon.

Eräkeiton automaatiohierarkia



Kuva 7, eräkeiton automaatiohierarkia



Kuva 8, eräkeiton automaatiohierarkia

4.6.2 Perustaso

Perustason ohjaus koostuu instrumenttipiireistä ja vaiheistuksen ohjauksesta.

Perustason instrumenttipiireihin kuuluvat prosessimittaukset, venttiilien ja moottoreiden kaukosäädöt, lukitukset ja ohjauslogiikka, hälytykset,

säädintoiminnot (laskimet, lukitukset, sekvenssiyhteydet ja aputoiminnot) ja osoitinpiirikonfiguraatiot aputoimintoihin (laskimet ja aritmetiikka). /10/

4.6.3 Ylätaso

Sellutehtaan keittämön ylätasoon kuuluvat yleensä seuraavat toiminnot.

- Keittosekvenssien seuranta ja koordinointi sekä tulevan ennustaminen
- Tuotannon ohjaus
- Tuotantovauhdin muutoksen ohjaus
- Keittimen täytön ohjaus
- Höyrynkäytön ohjaus
- Tankkifarmin hallinta
- Kapan ohjaus
- Käyttöliittymä

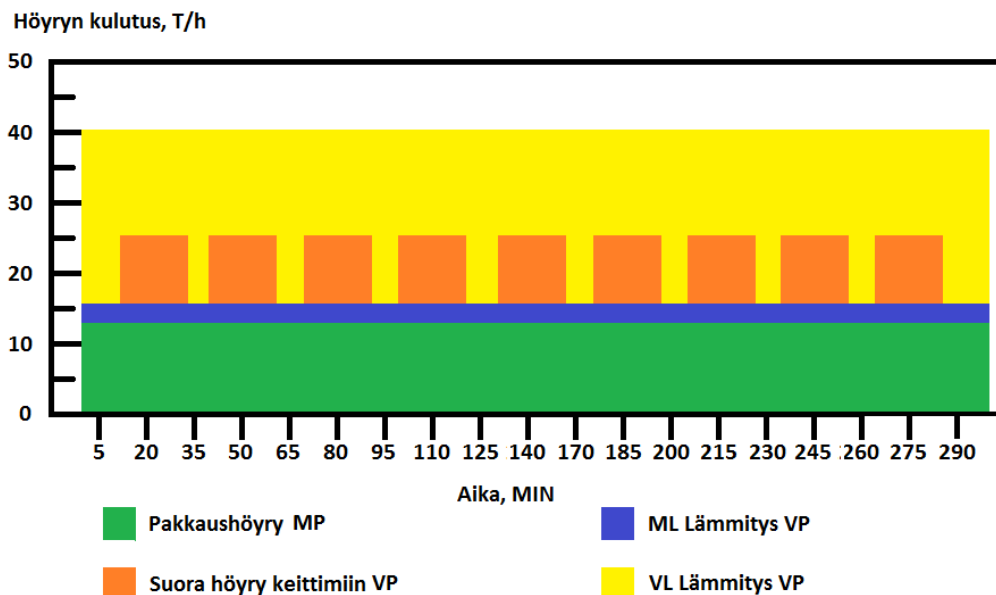
Yllämainitut toiminnot voidaan ottaa linjakohtaisesti pois ylätason ohjauksesta, mm. LML- täyttö, KLM- täyttö, VL- täyttö ja syrjäytys. /18/

Keittämökohtaiset toiminnot valvovat ja ohjaavat keittämön toimintaa tuotannon ja laadun optimoimiseksi. Ylätaso valvoo keittimien toimintoja ja sen tehtävä on pitää keittokierrot ja sekvenssit järjestyksessä. Tämä tarkoittaa käytännössä sitä, että jokainen keitin täytetään hakkeella, lipeillä ja höyryllä oikea-aikaisesti ottaen huomioon muiden keittimien ja yhteisten laitteiden ja säiliöiden tilanne. Merkittävin keittimien ruuhkautumista aiheuttava tekijä on jonkin sekvenssivaiheen epäonnistuminen: Huono kuumamustalipeätäyttö, pitkä purku, hakkeen saantiongelmia ja kierto-ongelmat. /10,13,18/

Syrjäytyseräkeitossa tarvitaan siis ohjausjärjestelmä, joka pyrkii rytmittämään keiton aloitukset siten, että ongelmilta vältytään. Ohjausjärjestelmän täytyy suunnitella toteutuneen historian perusteella täyttöjärjestykset, lämpötilan nostot ja keittolämpötilat siten, ettei ruuhkia tule. /13/

Höyrynkulutuksen ohjauksella pyritään pitämään höyrynkulutus tasaisena ja optimaalisena tuotantovauhdin suhteen. Pääasiassa säätö toteutetaan suorittamalla nostot tasaisin väliajoin eriaikaisesti. Kulutuksen tasaukseen voidaan käyttää myös kuumavalkoliipeän ja kuumamustalipeän lämmitystä.

/10/



Kuva 9. Tyypillinen esimerkki SuperBatch- keittimen höyrynkulutuksesta

Höyryn kulutusta pyritään pitämään niin tasaisena kuin mahdollista. Eräkeitto aiheuttaa nopeita ja melko suuriakin muutoksia höyryvirtaukseen. Nämä virtausmuutokset ovat harmillisia voimalaitoksen kannalta. /13/

Höyryntasaussäätö pyrkii tasaamaan höyrynkulutusta kemikaalitankkien lämmitysten avulla. Kaikki höyryä kuluttavat toimenpiteet pyritään

aloittamaan ja lopettamaan jouhevasti. Ohjelmisto pyrkii maksimoimaan matalapaineisemman höyryn käyttöä. /13/

4.6.4 Tuotannon ohjaus

Tuotantovauhdin muutos mahdollistaa keittämön tuotantotason helpon ja nopean muuttamisen laadun siitä kärsimättä. Resurssirajoitetussa tilanteessa ajetaan maksimituotantoa annettujen keittoparametrien perusteella rajoitetusta tekijästä laskien. Jos operaattori on syöttänyt liian korkean, epärealistisen tavoitteen niin ylätaso laskee tuotantotason, mikä sillä hetkellä on mahdollista saavuttaa. Ylätaso käyttää aina laskettua tuotantotasoa omissa laskennoissaan. /18/

Operaattori syöttää järjestelmälle: /18/

- Uuden tuotantotavoitteen linjakohtaisesti
- Käytössä olevien keitinten lukumäärän
- Höyry- ja lipeäresurssirajat koko keittämölle

Tuotantovauhdin ohjausmalli laskee muuttuneelle tuotantotasolle:

- Tuotannon määrät molemmille linjoille tai koko keittämölle
- Tavoite kuumamustalipeä täyttöajan kaikille keittimille
- Tavoitetyhjennysajan kaikille keittimille
- Uuden tavoitekiertoajan linjakohtaisesti tai koko keittämölle
- Uudet alkamisajat jokaisen keittimen vaiheisiin
- Asetusarvo höyrynkulutukselle
- Ohjeelliset tavoitelämpötilat

Keittojen tahdistusajalla tarkoitetaan ylätason määrittelemää keittimien kuumalipeätäyttöjen välistä lähtöaikaa. Se on aika, jolla valvotaan ja tahdistetaan eri keittimien toimintoja ja säädetään keittämön tuotantoa. /13,18/

Keittämöllä mahdollisesti olevia odotusaikoja voidaan hyödyntää keittolämpötilaa alentamalla, jolloin keittoaika pitenee ja rejektipitoisuus alenee. /13/

Linjan keittojen tahdistusaika lasketaan keittojen lukumäärästä.

$$T_{n_{KML}} = 1440 / K_n(8)$$

Missä

$T_{n_{KML}}$ =linjan tahdistusaika [min]

K_n =linjan keittojen lukumäärä [keittoa / vrk]

4.6.5 Keittoaika ja -lämpötila

Keittovaihe lopetetaan yleensä saavutettaessa tietty H-tekijä. Normaalisti tämä tehdään niin, että automaatiojärjestelmässä on laskuri, joka summaa H-tekijää tietystä vaiheesta alkaen. Kun tavoite tulee täyteen, niin pesulipeäsyrytys alkaa. Rytmityksen onnistumisesta riippuu, onko syrytyslinja käytettävissä kun H-tekijä tulee täyteen. /13/

Kuumalipeätäyttö ja keiton katkaisu syryttämällä aiheuttavat keiton sisäistä H-tekijävaihtelua, mitä toisaalta tasoittaa se, että keittimen eri osat ovat keittolämpötilassa saman ajan. Syrytysnopeus on kapasiteettikysymys, joten se pidetään niin korkealla kuin mahdollista./13/

Tuotantonopeuden säätö ja keitinten jaksotus laskee ja määrittää keittojen väliset ajoitukset. Se myös huomioi resurssirajoitukset, kuten käytössä olevien keittimien lukumäärä, rajoitetut yhtäaikaiset tapahtumat (esim. haketäyttö vain yksi keitin kerrallaan) ja maksimihöyrymäärät. /13/

Jaksotuksessa käytetään melko yleisesti myös tankkien pintaennusteita,

joiden avulla pyritään ehkäisemään pidätetyistä keitoista johtuva ylikeittyminen./13/



Kuva 10, Tankkien pintaennusteet ja virtaussäädöt

II KOKEELLINENOSA

5 TEHDASKUVAUS

ENOCCELLIN SELLUTEHDAS

Enocell Oy:n sellutehdas sijaitsee Pohjois-Karjalan Uimaharjussa. Sellutehdas käynnistyi 1967, jolloin tehdas tuotti parhaimmillaan 140000 tonnia sellua vuodessa. Vanhenevalla sellutehtaalla aloitettiin laajennus- ja modernisointityöt vuonna 1990 jolloin tehtaalle rakennettiin täysin uusi kuitulinja sekä keittämö. Uudistettu sellutehdas aloitti toimintansa vuonna 1992.

Nykyisin sellutehdas valmistaa SuperBatch-eräkeittämöllä ja kahdella kuitulinjalla noin 450 000 tonnia sellua vuodessa. KL1 valmistaa viskoosisellua ja KL2 pitkäkuituista havusellua.

Sellutehtaan keittämö koostuu kymmenestä 300 m³keittimestä. Keittimet 1-4 keittävät sellua kuitulinjalle 1 ja keittimet 5-10 kuitulinjalle 2. Kuitulinjat koostuvat ruskeanmassan pesulinjasta, lajittelusta, happivaiheesta sekä 4-vaiheisesta valkaisusta (D0, OEP,D1,P)

Molemmilla keitinlinjoilla on oma hakelinja ja kummallakinkuitulinjalla voidaan keittää joko pitkä- tai lyhytkuitusellua. Linjoille yhteiseen tankkifarmiin kuuluu yksi kuumavalkolipeäakku, kolme kuumamustalipeäakkua, yksi lämminmustalipeäsäiliö ja yksi syrjäytyslipesäiliö. Linjoille on omat puskusäilönsä.

KL 1:lla käytetään perusraaka-aineena koivua ja KL 2:lla mänty- ja kuusikuitupuuta sekä sahoilta tulevaa mänty- ja kuusisahahaketta

6 KEITTIMEN KAPASITEETIN PULLONKAULAN MÄÄRÄYTYMINEN

Tässä kappaleessa käsitellään työn tekijän olettamuksia pullonkaulanmääräytymisestä.

1.

Keittimien kokonaiskiertoaika eli eri sekvenssien (HT, LLT, KMLT, Nosto, Keitto, Syrjäytys ja Purku) yhteenlaskettu aika on pullonkaula, jos se on pidempi kuin linjan keittimien pullonkaulasekvenssien yhteenlaskettuaika. Tällöin on lyhennettävä kokonaiskiertoaikaa lyhentämällä mitätähansa alisekvenssiä, jota on mahdollista optimoida. Pullonkaulasekvenssillä tarkoitetaan tässä yhteydessä hitainta niistä sekvensseistä, jossa voi olla vain yksikeitin kerrallaan. (HT, LMLT, KMLT, Purku).

2.

Keitinten hitaimpien yksittäisten sekvenssien yhteenlaskettujen aikojen ollessa pidempi kuin keittimen kokonaiskiertoaika, on tämä keittojen määrää rajoittava tekijä

Tällaisen pullonkaulan lyhentäminen on erityisen kannattavaa, koska kyseisen pullonkaulan poistaminen nostaa vuorokaudessa mahdollisten keittojen määrää voimakkaasti siihen asti kunnes hitaimman keittimen kiertoaika tulee rajoittavaksi tekijäksi. Kokonaisuutena saavutetaan sekvenssin lyhenemisaika kerrottuna keitinten lukumäärällä jokaisella keittokierroksella. Pullonkaulasekvenssi määritetään laskemalla keitinten erillisten sekvenssien kesto yhteen niissä tapauksissa joissa pääsekvenssissä voi olla vain yksi keitin kerrallaan.

1. Haketäyttö
2. Lämminmustalipeätäyttö
3. Kuumamustalipeätäyttö
4. Tyhjennys

Pullonkaulasekvenssi on erityisen tärkeä tuotannon tehokkuuden kannalta, sillä pullonkaulasekvenssin ollessa määräävä, nousee keittimen kiertoaika samassa suhteessa kuin mitä pullonkaulasekvenssi nousee. (Jos esim. pullonkaulasekvenssin aika nousee 20 %, nousee kokonaiskiertoaika 20 %)

3.

Nostossa ja keitossa voi olla rajoittamaton määrä keittämiä kerralla, joten nämä eivät muodostu pullonkaulasekvenssiksi. Pitkittyminen vaikuttaaluonnollisesti täysimääräisesti kokonaiskiertoaikaan.

4.

Syrjäytyksessä voi olla kaksi keitintä yhtä aikaa, joten tämän sekvenssin tulee olla pituudeltaan vähintään kaksinkertainen verrattuna sekvensseihin, joissa voi olla vain yksi keitin kerrallaan, jotta se muodostuisi pullonkaulaksi.

5.

Jos joku keitin on jostain syystä hitaampi kuin muut, tahdistuvat muut keittimet tämän nopeuteen.

6.

Keittimen täyttöaste voi muodostua pullonkaulaksi, jos keitintä ei ajeta jostain syystä täyteen tai pakkaus on puutteellinen.

6.1 Pullonkaulan selvittäminen

Keittämön tuotantoa rajoittavat vuorokaudessa tehtyjen keittojen määrä ja pakkausaste eli keittimeen mahtuvien haketonnien määrä. Tuotantoa

voidaan siis lisätä lyhentämällä keittimen sekvenssiaikoja tai lisäämällä sen pakkausastetta. Tämä kappale sisältää spekulatiota keittämön optimoinnista.

Keiton kiertoajan määrittää keittimien pullonkaulasekvenssien yhteenlaskettu aika tai linjan hitaimman keittimen kiertoaika. Keittimen eri sekvenssiajoissa oleva hajonta aiheuttaa sen että käytännössä keittimen kiertoajan tulisi olla hieman lyhyempi kuin pullonkaulasekvenssien yhteenlaskettu aika.

Seuraavassa oletuksia keittämön optimoinnin vaiheista:

1. Selvitetään mahdollinen pullonkaulasekvenssi ja sen kesto aika
2. Selvitetään kokonaiskiertoaika
 - ➔ Kokonaiskiertoaika > Pullonkaulasekvenssi
 1. Selvitetään minkä sekvenssin pituus on kasvanut historiallista dataa käyttäen. (Wedge- malli)
 2. Selvitetään miksi kyseinen sekvenssi on pidentynyt ja korjataan vika (Wedge- malli)
 3. Jos pidentynyttä sekvenssiä ei löydy, selvitetään voidaanko jotakin pääsekvenssiä lyhentää investoimalla tai prosessin ajotapaa muuttamalla.
 - ➔ Kokonaiskiertoaika < pullonkaulasekvenssi
 1. Selvitetään miksi pullonkaulasekvenssi on pidentynyt ja korjataan vika (Wedge- malli)
 2. Jos pullonkaulasekvenssin aika ei ole kasvanut pyritään selvittämään millä keinolla tai investoinnilla tämän lyhentäminen on mahdollista.

7 TEHTAALLA ILMENNEEN ONGELMAN KUVAUS

KL2:n tuotanto on pudonnut aiemmalta 900t/d (5/2011) tasolta keskimääräiselle 800t/d tasolle (7/2012) tasolle. Tuotannon määrä on myös vaihdellut voimakkaasti erinäisistä keittämön ja kuitulinjan ongelmista johtuen.

Tuotannon tehokkuutta arvioidaan vuorokaudessa valmistuneiden keittojen määrää seuraamalla. Keitinten 5-10 tuotannon tulisi tavoitteen mukaan olla 39 keittoa vuorokaudessa. Jos keittoja syntyy alle tämän tavoitteen, kirjaa vuoromestari jokaiselle menetykselle syyn.

Tammi-elokuun välisenä aikana keittämölle kohdistui menetyksiä keskimäärin 2500t/kk. Tämä määrä on noin 40 prosenttia kaikista menetyksistä.

Keittomenetysten suuri määrä ja osuus johtuivat pääosin eri keittämön sekvenssiaikojen pitenemisestä ja joissain tapauksissa sekvenssiaikojen hajonnan kasvamisesta.

Yksittäisten keittimien sekvenssien ajat vaihtelevat merkittävästi eri keittojen välillä. Myös keitinten välillä on suuria eroja eri sekvenssiaikojen välillä.

8 TAVOITTEET JA TUOTANTO ENNEN TYÖN ALOITTAMISTA

Työn tavoitteena on selvittää syy prosessin suorituskyvyn tason laskuun ja luoda työkalut tason muutoksen havaitsemiseksi tulevaisuudessa. Työkalulla tulisi voida myös analysoida prosessin osia, joita olisi järkevä parantaa, joten yksi tavoite on soveltaa kehitettyjä työkaluja keittämöntuotantomäärän nostamiseksi. Keittomenetykset kohdistuvat noin 40 % osuudella keittämöön (1 – 7/2012).

Keittämön tuotantoa voi jarruttaa yksittäisen keittimen tai koko linjan tietty, pitkittynyt sekvenssi joka aiheuttaa pullonkaulan prosessin maksimaaliselle kapasiteetille. Myös keittimen ajaminen pienemmällä hakepainolla kuin se olisi mahdollista rajoittaa keittämön kapasiteettia. Työn tavoitteena on luoda työkalu, jolla tällainen pitkittynyt rajoite havaitaan ja jolla sitä voidaan analysoida tarkemmin.

Kuivauskone 2:n tuotanto oli seisokit ja pulpperoinnit pois laskien tammi - heinäkuu 2012 välisenä aikana keskimäärin 789 t/vrk. Tuotanto on parhaimmillaan ollut kuitulinjan ajaessa koivusellua keskimäärin 1200t/vrk.

KL2:lle kirjattiin keittomenetyksiä tammikuu - heinäkuu 2012 välisenä aikana keskimäärin 6370 t/kk, joista 2485 t/kk, eli 39 % kohdistui keittämölle. Keittämölle kohdistui siis varsin huomattava osa keittomenetyksistä.

9 KÄYTETYT MENETELMÄT

Työssä käytettävä data on kerätty Alcont automaatiojärjestelmästä Optivision ja Wedge tiedonkeräys- ja analysointiohjelmiin tehtyjä malleja käyttäen. Tehty Optivisionsivu perustuu kerättyihin sekvenssi aikoihin, joita voi verrata tavoite- ja historiallisiin aikoihin. Wedge ohjelmistoon tehtiin laskennat jokaisesta sekvenssistä ja askeleesta ja niiden kestosta, joten niiden analysointi on täten mahdollista.

Keittokierron kaikki sekvenssit ja askeleeton esitetty liitteessä 1.

Työn aikana tehtiin kolme tuotannon ongelmien havaitsemiseen ja selvittelyyn tarkoitettua työkalua.

1. Optivision raportti, josta voidaan havaita yksittäisen pääsekvenssin pidentyminen.
2. Wedgemalli, jota käyttämällä voidaan pureutua syvemmälle optivision raportissa havaittuun ongelmaan.
3. Kahdesti viikossa tuleva Wedge raportti, johon on koottu dataa, jonka avulla on mahdollista havaita prosessissa kehittyviä ongelmia.

Työn teon aikana huomattiin eri sekvensseissä tuotannon ja laadun alenemiseen ja vaihteluun johtavia ongelmia. Nämä ongelmat ja niiden vaikutus tuotantoon käsitellään myös tässä osiossa.

Analyysin perustana on keitinten kiertoajoissa tapahtuvan muutoksen seuranta. Jos näissä kiertoajoissa näkyy merkittävää pudotusta tavoitteeseen, selvitetään sekvenssit, jotka tämän vaihtelun aiheuttavat. Kun vaihtelun aiheuttamat sekvenssit on havaittu, pureudutaan askeleisiin ja sitä kautta päästään vaihtelun juurisyihin. Analyysi toistetaan halutuina väliajoin, jolloin kehityksen seuranta on jatkuvaa ja voidaan heti tarttua

esiintyviin ongelmiin ja huolehtia myös prosessin edelleen kehittämisestä.

Työkalu, jolla ongelmien kehittymistä voidaan seurata:

Tehtaalla jo olemassa olevan SAS järjestelmän keittomenetysraportti sisältää kaiken tarpeellisen tiedon, jotta prosessissa kehittyvät häiriöt voidaan havaita. SAS raportin ongelmana on ollut se, että se on ollut hankalasti haettavissa oleviensalasanojen ja käyttäjätunnusten takana, joten se on jäänyt harvojen ihmisten työkaluksi.

Työkalun ongelmana on myös se, että siihen ei ole voinut määrittelläajikohtaisia tavoitearvoja, eikä siinä ole voinut verrata kahta erillistä aikajaksoa, jolloin hiljalleen tapahtuvaa muutosta prosessissa on ollut lähes mahdotonta havaita. Tehtaalle hankittiin vuoden 2012 aikanaOptivision järjestelmä, johon tämä keittomenetysraportti on täydennettynä lisätty.

Työkalu askelten ja sekvenssiaikojen tarkempaan analyysiin rakennettiin Wedge prosessianalyysiohjelmalla, johon rakennettiin laskennat, joiden avulla voidaan seurata kaikkien sekvenssien ja askelten kestoa, yksittäisten vaiheajojen mahdollistamaa kiertoaikaa sekä yksittäisten keittimien mahdollistamaa kiertoaikaa.

9.1 Optivisionraportti

Tuotannon työnjohdon on tarpeen huomata, jos jonkin alisekvenssin kesto muuttuu merkittävästi, jolloin keittimien kiertoaika kasvaa ja keittämön kapasiteetti laskee. Tätä tarkoitusta varten luotiin optivision raportti, jonka tarkoituksena on mahdollistaa jonkin pääsekvenssin keston muuttumisen havaitseminen. Optivision raportin pohjana käytettiin tehtaalla ennen SAS järjestelmässä ollutta raporttia, jonka todettiin olevan sisällön

puolestariittävän kattava ja havainnollinen haluttuun käyttötarkoitukseen. SAS raportissa oli tiettyjä puutteita, jotka haluttiin korjata uuteen raporttiin.

1. Mahdollisuus asettaa prosessiparametreille lajikohtaiset tavoitearvot.
2. Mahdollisuus hakea lajikohtaisesti toteutuneet prosessiajat halutuilta aikaväleiltä joko yhdeltä, tai kahdelta aikaväliltä kerrallaan.

Optivision raportti liitteessä 2

9.2 Wedgemalli

Kun optivisionista on havaittu että tietty sekvenssi on pidentynyt, voidaan sekvenssin pidentymisen syytä tarkkailla lähemmin tätä varten Wedgeen tehdyllä mallilla, jolla yksittäisten askeleiden keston kehittymistä voidaan seurata. Jokaisen sekvenssin yksittäisten askeleiden kestot ovat keräyksessä noin kahden vuoden ajalta, joten askeleen pidentyminen on tämän työkalun avulla selvitettävissä.

Kun yksittäisen askeleen havaitaan pidentyneen, käytetään hyväksi tehtaalla olevaa ammattitaitoa ja käydään läpi kyseisen sekvenssin pituuteen vaikuttavat asiat. Kun vika on havaittu, ryhdytään korjaaviin toimenpiteisiin asian kuntoonsaattamiseksi.

Kyseistä Wedgemallia ei ole laajuutensa takia laitettu liitteeksi. Kyseinen malli löytyy Enocellin järjestelmästä nimellä Wedgemalli.

9.3 Wedgeraportti

Työn teon aikana havaittiin tiettyjä kroonisia, vähitellen kehittyviä ongelmia, joiden seurantaan on hyvä kiinnittää jatkuvaa huomiota. Näiden ongelmien havainnoimiseksi päätettiin rakentaa kahdesti viikossa tuleva raportti, johon valittiin ongelmiksi koetut asiat. Kyseistä raporttia voidaan helposti laajentaa ja muokata havaittaessa asioita, joita olisi hyvä havainnoida enemmän.

Tähän työnjohdolle tulevaan raporttiin valittiin seuraavat osa-alueet:

1. Keitinten kokonaiskiertoajat
2. Keitinkohtaiset sekvenssiajat
3. Keittotavoite ja toteutuneet keitot
4. Hakkeen hihnapaino
5. Keittimien pakkaushöyryjen paineet
6. Keittimien toteutuneet hakepainot
7. Lämminmustalipeävirtaama LLT:n aikana
8. KML ja KVL virtaamat KMLT:n aikana
9. Keitinten kiertopumppujen kuormat
10. Syrjäytyksen katkaisu paineheittoon
11. Syrjäytysmustalipeän virtaamat
12. Yläkierron lämpötilaprofiilit syrjäytyksessä
13. Purun odotusajat
14. Purkulaimennusmäärät
15. Imeytyslipeän jäännösalkali
16. Puskukappa
17. Keitinkohtainen kappa
18. Valkolipeämäärä KMLT:ä kohti

Esimerkki kyseisestä raportista liitteessä 3

10 TULOSTEN TARKASTELU

Kesän ja syksyn 2012 aikana keittämön alueella havaittiin useita keittämön tuotantoon vaikuttavia tekijöitä. Osa tekijöistä vaikutti myös tuotannon laatuun.

10.1 Haketäyttö

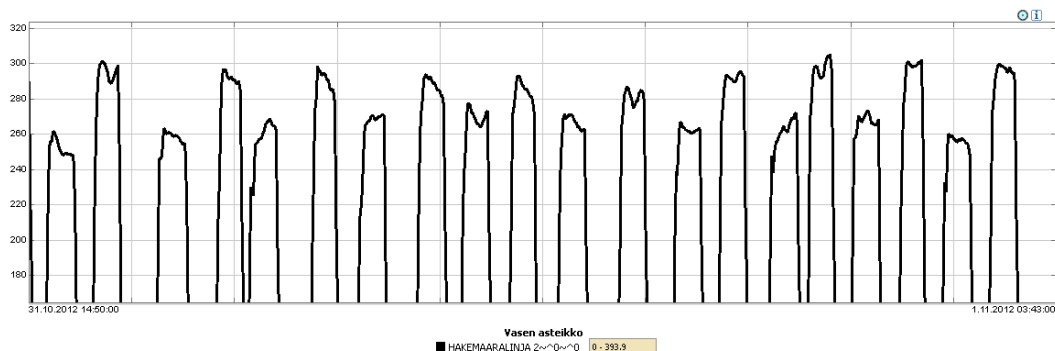
Haketäyttöaika on lähellä pullonkaulasekvenssin aikaa, joten haketäyttö voi pitkittyessään muodostua pullonkaulaksi.

10.1.1 Hakehihnapainot

Hakesekvenssin optimaalisen pituuden kannalta tärkein tekijä on maksimaaliset hakehihnapainot ja tästä syystä niiden seurantaan tulee kiinnittää erityistä huomiota. Kesäaikaan jopa 300t/h hakepunnitukset ovat suotavia. Korkeahihnapainot nopeuttavat myös lämminlipeätäyttöä.

Korkea hihnapaino nostaa myös keittimeen ajettavan hakkeen määrää koska keittimeen ajetaan ennalta määrätty vakioaika haketta ”keitin täysi” tiedon jälkeen. Tällä voi olla jopa yli 2% vaikutus keittimeen ajettavan hakkeen määrään.

Wedge-raporttiin tehty seuranta hakehihnapainoista auttaa havaitsemaan myös hakeruuvien vuorottelusta johtuvat poikkeamat, jolloin joka toinen keittimen purku on hihnapainoltaan toisistaan poikkeava, tällöin keittimet pakkaantuvat eri tavalla ja eri reseptillä. Tämä saattaa johtua mm. ruuvien huonosta purkamisesta tai automaatiohäiriöstä. Kuva 11 esittää automaatiohäiriöstä johtunutta ongelmaa ruuvipurussa. Kuvassa hakkeen hihnapainot, jotka vaihtelevat voimakkaasti.



Kuva 11. Automaatiovirheen aiheuttama häiriö ruuvipurussa

10.1.2 Kuljetin- ja ruuviviiveet

KL1:n puolen automaatiojärjestelmään rakennettiin kesän aikana kuljettimien viiveiden säätötaulukko, jonka pääasiallinen tarkoitus oli parantaa K1-K4 keskeytyviä haketäyttöjä. Keittimeen menevässä hakevirrassa esiintyi katkoksia, jotka johtivat pakkaushöyryn ulosvirtaukseen keittimestä, jolloin tukosanturit aktivoituivat ja katkaisivat haketäytön.

Viiveiden pienentämiset vaikuttivat suoraan myös haketäyttöaikoihin, jonka takia kyseinen toimenpide tehtiin myös KL2:n keittimiin haketta syöttäviin kuljettimiin ja ruuveihin. Jokainen tyhjä pätkä keittimille menevässä hakevirrassa aiheuttaa kasvua haketäyttöaikaan ja mahdollisesti huonontaa pakkausta.

Ruuvien käynnistysviiveitä vähennettiin yhteensä 25 sekuntia ja pysäytysviiveitä 35 sekuntia. Tästä seurasi tyhjien pätkien väheneminen yhteensä minuutilla, joka johti haketäytön nopeutumiseen yhtä paljon. Viiveiden säätötaulukko kuvassa 12.

KULJETTIMIEN KÄYNN./PYS. VIIVEET									
		VIIVE SEKUNTIA							
ASKEL	KULJETIN / TOIMINTO	100 K5	0 K6	0 K7	0 K8	0 K9	0 K10		
30	ALIN RUUVI KÄYNNISTYS	10 ****	10 ***	10 15	10 16	10 16	10 14		
50	YLIN RUUVI KÄYNNISTYS	5 7	5 10	5 8	5 10	5 10	5 8		
60	PITKÄ HIHNA KÄYNNISTYS	10 14	10 15	10 14	15 19	10 15	10 15		
70	LYHYT HIHNA KÄYNNISTYS	5 7	5 7	5 ***	5 8	5 ***	5 ***		
80	PURKAIN HIHNA KÄYNNISTYS	10 14	10 14	10 7	10 14	10 7	10 7		
90	MÄNTYH. PURKURUUVI KÄYNNISTYS	10 11	10 11	10 11	10 12	10 11	10 11		
91	M.H. PURKUR. SIIRTO KÄYNNISTYS	5 78	5 6	5 6	5 6	5 6	5 6		
95	KOIVUH. PURKURUUVI KÄYNNISTYS	10 ****	10 11	10 11	10 66	10 11	10 ***		
96	K.H. PURKUR. SIIRTO KÄYNNISTYS	5 ****	5 65	5 93	5 4	5 97	5 ***		
100 105	HÖYRYPAKKAUS/POHJAHÖYRY								
110	MÄNTYHAKE PURKU PYSÄYTYS	5 ***	5 6	5 7	5 7	5 6	5 6		
115	KOIVUHAKE PURKU PYSÄYTYS	5 ***	5 6	5 6	5 6	5 6	5 6		
120	PURKAIN HIHNA PYSÄYTYS	5 ***	5 6	5 6	5 6	5 6	5 6		
130	LYHYT HIHNA PYSÄYTYS	5 ***	5 6	5 6	5 6	5 6	5 6		
140	PITKÄ HIHNA PYSÄYTYS	10 ***	10 11	10 11	10 11	10 11	10 11		
150	YLIN RUUVI PYSÄYTYS	5 ***	5 ***	5 6	5 6	5 6	5 6		
170	ALIN RUUVI PYSÄYTYS								
							614D314D.PIC		

Kuva 12. Kuljetin ja ruuviviiveiden säätötaulukko

10.1.3 Paukaushöyryn paine

Pakkaushöyryn paineella ja oikealla ajomallilla on selvä vaikutus keittimeen mahtuvan hakkeen määrään. Hyväksi malliksi on eräällä tehtaalla havaittu höyryn paineenrampitus suoraviivaisesti 50 kPa -> 350 kPa keittimen hakemäärän lisääntyessä. Hakepakkausasteella on havaittu myös keiton sisäistä kappahajontaa pienentävä vaikutus. /9/

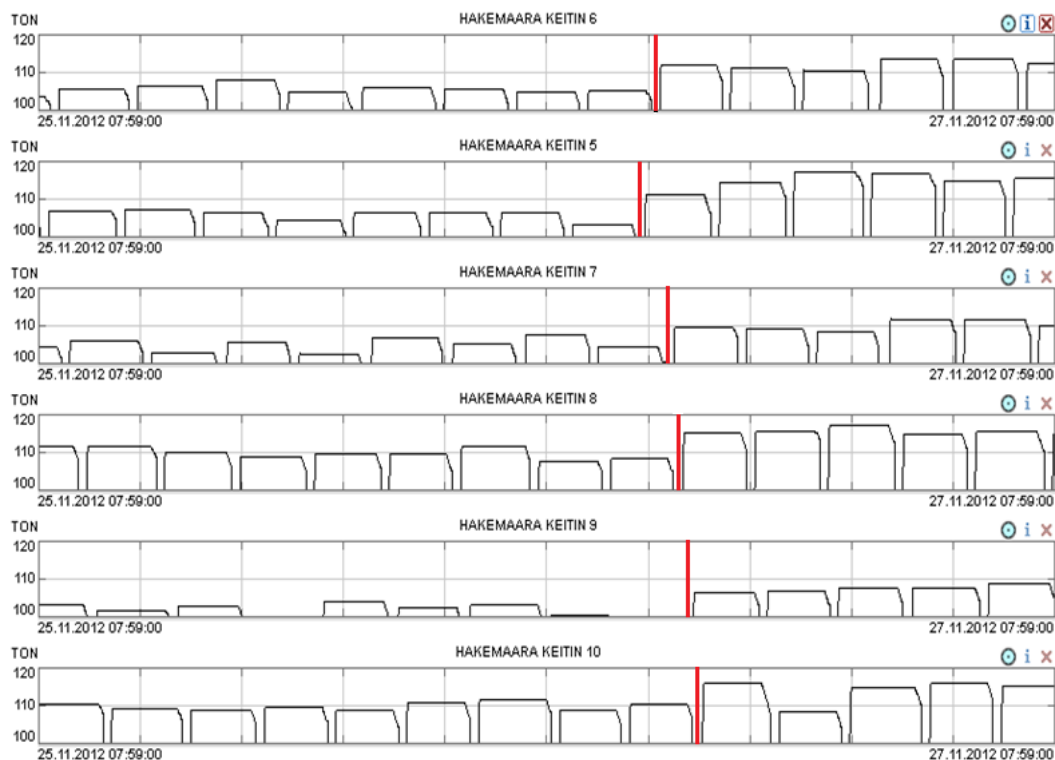
Tästä ajomallista tehtiin koeajo 17.10.2012, jossa pakkaushöyryn ajomallia muutettiin tasaisesta 150kPa höyrynpaineesta tasaisesti kasvavaksi 150-350kPa: n välille keittimeen ajettavan hakemäärän funktiona

Tuloksista havaittiin, että pakkaushöyryn rampituksella on positiivinen vaikutus keittimeen mahtuvaan hakemäärään. Tällä perusteella päätettiin tehdä automaatiojärjestelmään yhdelle keittimelle

hakemäärän mukaan säätyvä painerampitus. Tällä rampituksella huomattiin keittimeen mahtuvanparhaimmillaan lähes 10 % enemmän haketta, joten muillekin keittimille rakennettiin samanlainen rampitus.

Kyseisellä muutoksella saatiin aikaan seuraavia etuja:

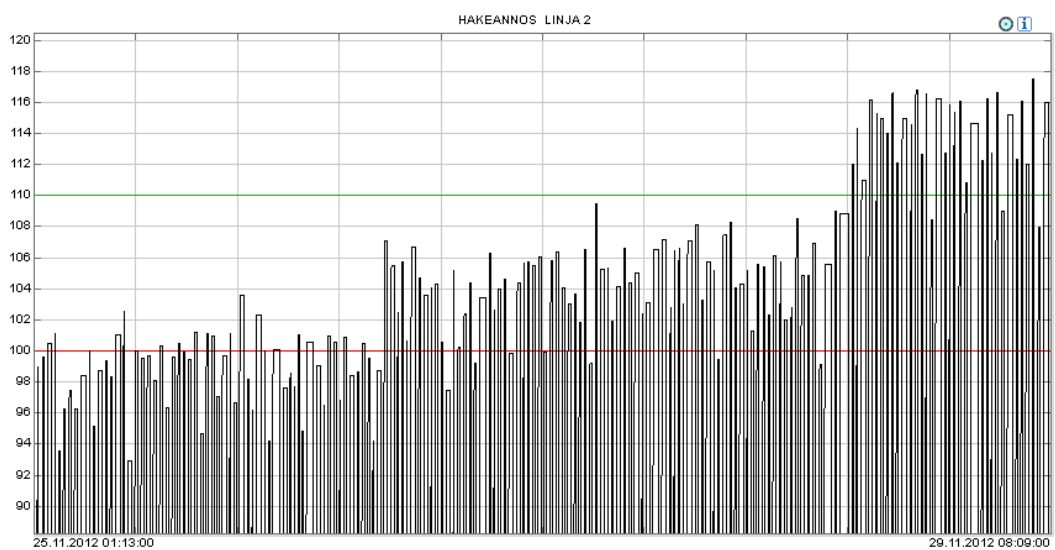
Keittimeen mahtuu > 5 % enemmän haketta, jonka seurauksena keittimien 5-10 kapasiteetin voi olettaa nousseen lähes saman verran. Oheisessa kuvassa punainen poikkiviiva tarkoittaa pakkaushöyryn rampituksen käyttöönottoa.



Kuva13.Keittimen mahtuva hakemäärä ennen ja jälkeen rampituksen

Pakkaushöyryn uuden paineen ajomallin sekä aiemmin syksyllä tehtyjen pysäytysviiveiden muutosten jälkeen keittimen oletettiin jäävän vajaaksi. Pysäytysviiveiden lyhentäminen vähensi keittimeen "keitin täysi" ilmoituksen jälkeen ajettavan hakkeen määrää.

Tämä asia varmistettiin 29.11.2011, tarkistamalla keittimiä haketyön jälkeen, jonka jälkeen lisättiin lähetimen antaman hakesyötön pysäytysviivettä 55 sekunnista 100 sekuntiin, jolloin haketyötä saatiinkasvatettua 290t/h hihnapainolla 3,6 tonnia keittoa kohti. Verrattaessa muutosta tilanteeseen joka vallitsi pysäytysviiveiden muutosta ennen saadaan lisäykseksi 10s hakemäärän ajo, joka tarkoittaa noin 0,7 tonnin hakemäärän lisäystä keittoa kohden.



Kuva 14. Keittimeen mahtuva hakemäärä rampituksen ja viiveen lisäyksen jälkeen

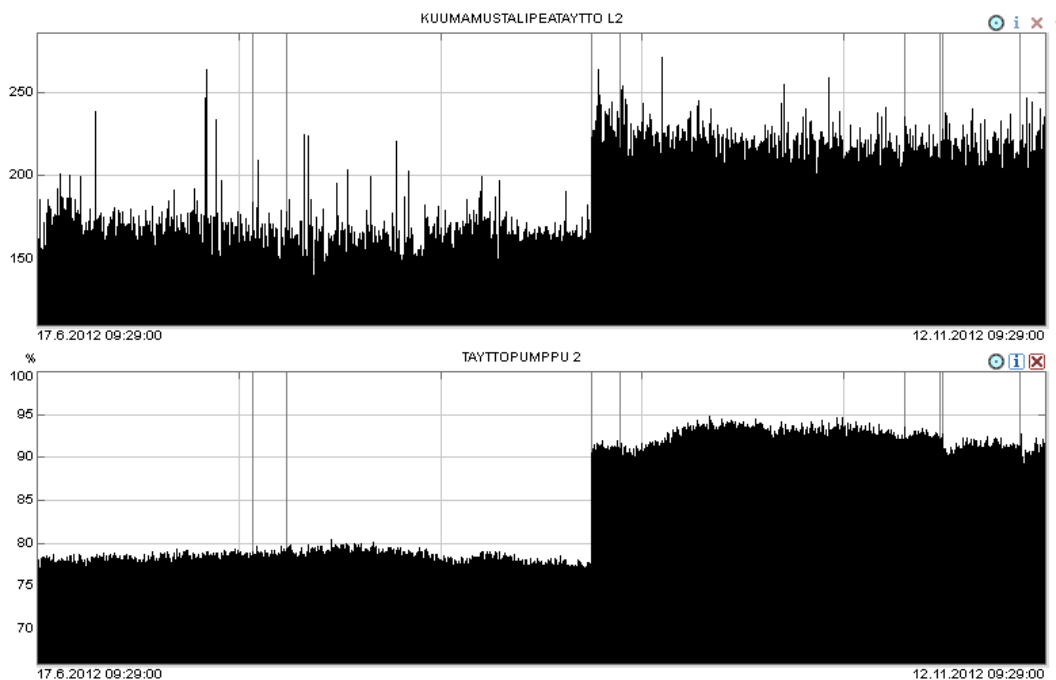
10.1.4 Pakkauslaitteiden kunnon seuranta

Pakkaushöyryn annostelulaitteet ja paineanturit ovat hajonneet useasti, jolloin pakkaustapahtuma ei ole ollut enää optimaalinen. Wedge- raporttiin tehtiin tätä varten malli pakkaushöyryn paineesta ja pakkaushöyrylinjan venttiilien kulmista. Näistä raporteista voi havaita, jos yksittäinen pakkaushöyrylinja käyttäytyy muita poikkeavalla tavalla, jolloin on syytä epäillä laitevauriota. Kyseinen Wedge-raportti liitteessä 3.

10.2 KML-täyttö

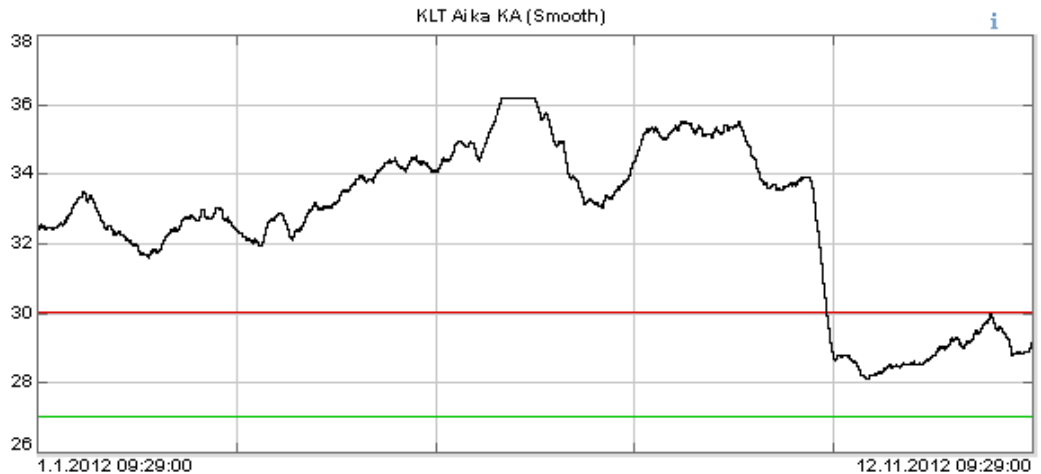
Työtä tehdessä selvisi, että kuumamustalipeän täyttöaika oli kasvanut 1/2011 noin 27 min tasosta pikkuhiljaa noin tasolle. 33 min. Tämä oli ajanut KML täytön pullonkaulaksi.

Muutoksen havaittiin johtuvan KMLA1:ltä keittimiin pumppaavan pumpun kuorman ja tuoton putoamisesta hiljalleen noin 1,5 vuoden aikana. Tästä pääteltiin että akulta pumppaavassa pumpussa on jotain vikaa. Viaksi paljastui se, että juoksupyörä oli erittäin likainen ja osittain kokonaan tukkeutunut. Juoksupyörä vaihdettiin uuteen ja kuten kuvaajista näkyy, pumpun ottama kuorma ja tuotto nousivat voimakkaasti tämän jälkeen ja kuumamustalipeätäytöt palautuivat hyvälle, noin 27,6 min tasolle.



Kuva 15. KMLA1 Pumpun kuorma (%) ja virtausmäärä (l/s). (17.6.2010-12.11.2012)

Koska pumpun tuottama virtausmäärä kasvoi huomattavasti, tästä seurasi keskimääräisten KMLT aikojen putoaminen vajaan 6 min verran.



Kuva 16. Keskimääräiset KML- täyttöajat 1.1.2012-15.11.2012

Kuumamustalipeätäyttöjen ollessa 34,7min tasolla ja koska vain yksi keitin voi olla KML- täytössä kerrallaan, kuumamustalipeätäytön mahdollistama teoreettinen maksimi vuorokautiselle keittomäärälle oli

$$\frac{1440 \frac{\text{min}}{\text{vrk}}}{34,7 \frac{\text{min}}{\text{keitto}}} = 41,5 \frac{\text{keittoa}}{\text{vrk}}, (11.7.2012-4.9.2012)$$

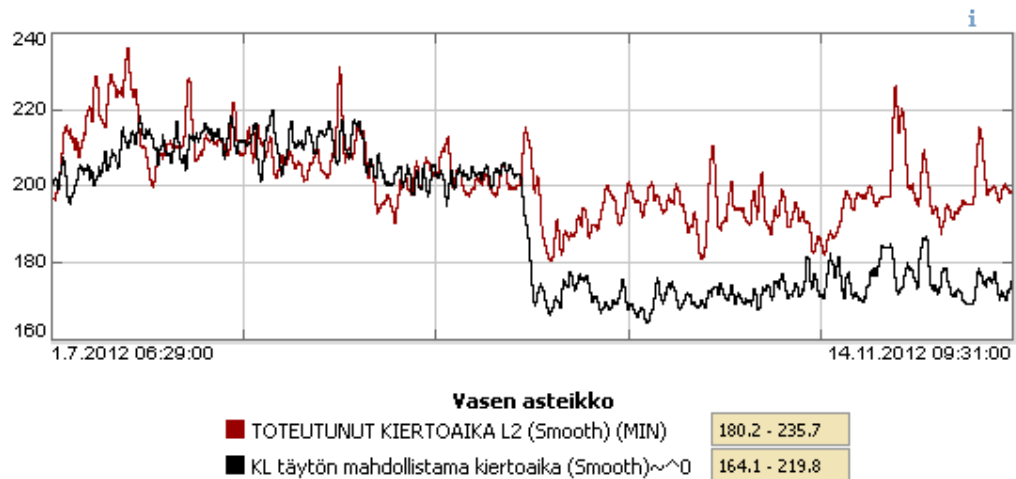
ja muutoksen jälkeen

$$\frac{1440 \frac{\text{min}}{\text{vrk}}}{28,8 \frac{\text{min}}{\text{keitto}}} = 50 \frac{\text{keittoa}}{\text{vrk}}, (7.9.2012-4.11.2012)$$

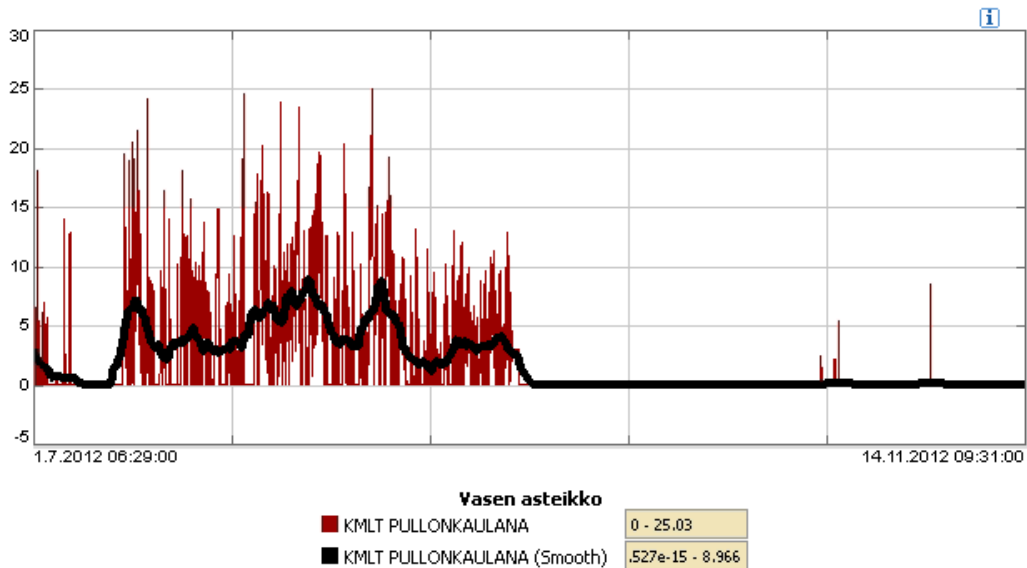
Kumpikin maksimi on sekvenssiajoissa tapahtuvan hajonnan ja tätä kautta tulevien odotusaikojen vuoksi käytännössä pienempiä. Kyseiset keittomäärät toteutuisivat, jos seuraava keitin olisi aina valmiina aloittamaan KMLT:n edellisen keittimen KMLT:n valmistuttua. Kyseiset ajat ovat KMLT täyttöaikojen keskiarvoja laskujen perässä olevilta ajanjaksoilta.

Wedge keräilyssä on toteutunut keitinten kiertoaika. Tätä aikaa verrattiin

KML- täytön mahdollistamaan kiertoaikaan niin että näiden erotuksesta tehtiin laskenta niiltä osin, kun kyseistentäyttöaikojen mahdollistama kiertoaika on suurempi kuin toteutunut kiertoaika. Näin nähdään tilanne, jossa KML- täyttö on ollut pullonkaula. Lisäksi tästä nähdään, kuinka monta minuuttia kierto on tämän vuoksi pitkittynyt.



Kuva 17 Kiertoaajan ja KML – täytön mahdollistamat kiertoaajat



Kuva 18. KML - täyttö pullonkaulana

Kuten kuvasta 18 nähdään, ei keittokierto ole käytännössä pitkittynyt KML- täyttöjen takia enää pumpun vaihtamisen jälkeen.

Keittokierto on nopeutunut KML- täytön nopeutumisen johdosta keskimäärin 4.4 minuuttia pullonkaulasekvenssin poistumisen vuoksi 13.7-5.9.2012 aikajaksoon verrattuna ja tämän lisäksi KML- täytön nopeutumisen vaikutus keittimen kokonaiskiertoaikaan, eli 5,7 minuuttia. Yhteensä 10.1 min/kierto. Kyseisen muutoksen vaikutus vuorokaudessa saatavien keittojen määrään noin 2,2 keittoa/vrk.

10.3 Nosto/keitto

Lämpötilan pienikin muutos vaikuttaa H-tekijän kertymisnopeuteen voimakkaasti, joten keittimen lämpötilalla KML täytön jälkeen on suuri merkitys näiden sekvenssien kokonaiskesto aikaan. KMLA ja KVLA lämpötilojen tulisi taten olla mahdollisimman korkeat haluttaessa lyhin mahdollinen nosto/keitto aika.

Höyrylämmönvaihdin luovuttaa energiaa sitä enemmän, mitä suuremmalla virtauksella valkolipeä ajetaan sen läpi. Tämän takia nostettu valkolipeä kierrättävän pumpun kierrosnopeutta 800 → 1100 rpm. Hyötyä on vaikea mitata.

11.4.1 Tukkeentuneet kaasaussihdit

Nostoajat pidentyvät usein tukkeentuneiden kaasaussihdien vuoksi. Kaasaussihdin tukkeutuessa paine ei pääse purkautumaan keittimestä KMLA2:n, jolloin keittimen paine nousee. Tästä seuraa se että keittimen ja höyrylinjan välinen paine-ero laskee jolloin keittimeen tulevan höyryn määrä ja samalla lämmitysteho laskee. Nostoaika kasvaa tästä syystä, joten kaasaussihdien puhtauteen on kiinnitettävä huomiota.

Koska kaasaussihdin tukkoisuus on havaittavissa keittimen ja akun paine-erosta noston aikana on tästä tehty Wedge raportti, josta voi asian

havaita. Kyseinen raportti liitteessä 3.

11.4.2 Kuumavalkolipeäakun lämpötila

Nosto pitenee noin 40 sekuntia jokaista kuumavalkolipeäakun alle keittolämpötilan olevaa astetta kohden, joten 10 C alle keittolämpötilan oleva akun lämpötila lisää nostoaikaa noin 400 sekuntia.

Täten lämpötilan tulisi olla mahdollisimman lähellä keittolämpötilaa.

10.5 Syrjäytys

Syrjäytyksessä voi olla samanaikaisesti kaksi keitintä kerralla, joten tämä sekvenssi ei kehity pullonkaulaksi kovinkaan helposti.

11.5.1 Syrjäytyksen keskeytyminen paineheittoon

Havaittiin, että etenkin K5 ja K10 keskeyttävät syrjäytyksen keittimen syrjäytyssihdin yli olevan paine-eron noustessa yli 200 kPa: n. Tämä indikoi keittimen syrjäytyssihdin tukkoisuutta.

Syrjäytyksen keskeytystä tutkittaessa huomattiin, että syrjäytyksen keskeytys ajoittuu usein ajankohtaan, jolloin keitin siirtyy syrjäyttämään lämminlipeäsäiliön nesteellä syrjäytyslipeäsäiliön nesteen sijaan.

Syrjäytyslipeän virtausmäärä notkahtaa tässä vaiheessa, jonka jälkeen syrjäytyssihdin yli oleva paine-ero katkaisi joskus syrjäytyksen. Päätettiin muuttaa LL säiliöltä tulevan venttiilin ohjaus sellaiseksi, että venttiilille ei anneta sulkeutumislupaa ennen kuin syrjäytyslipeäsäiliöltä tuleva venttiili on täysin auki. Tämä muutos mahdollisesti vähensi paine-erosta johtuvaa pätkimistä joissain tilanteissa. Muutos tehty 1.11.2012.

K5:n kaasaussihtion piikattu 8.11.2012, jolloin havaittiin että syrjäytyssihti on erittäin tukossa. Päätettiin vaihtaa sihti sopivan hetken tullen.

Syrjäytyssihdin tukkoisuuden havaitsemiseksi laadittiin wedgeraporttiin laskenta, joka ilmaisee paine-eroon katkenneen syrjäytyksen 0-1 tiedolla. Kyseisestä raportista näkee katkenneet syrjäytykset, jolloin on helppo havaita keittimet, joiden syrjäytyssihdit ovat tukossa.

11 TEHTYJEN MUUTOSTEN VAIKUTUS K5-K10 KAPASITEETTIIN

Työn aikana KL2 keittämölle tehtyjen muutosten vaikutus kapasiteettiin käsitellään tässä osiossa.

11.1 Haketäyttö

Haketäyttövaiheessa tehtiin kolme muutosta, joiden voidaan sanoa vaikuttaneen keittämön kapasiteettiin.

11.1.1 Viiveet

Keittämön kuljettimien käynnistys ja pysäytysviiveitä lyhennettiin yhteensä 60 sekunnin verran. Tästä johtuen haketäyttöajat lyhenivät vastaavan ajan. Jos keittimen kiertoajaksi oletetaan 200min, lyhentävät kyseiset muutokset keittimien kiertoaikaa 0,5 %. Tämä muutos johtaa noin 0,5 % kapasiteetin nousuun. Jos oletetaan kapasiteetin olevan 800t/vrk, tarkoittaa tämä noin 4t/vrk kapasiteetin lisäystä.

Viiveiden pienennys vaikutti pysäytysviiveiden (35s.) osalta keittimeen pakkautuvan hakkeen määrään. Tätä kompensoitiin muuttamalla ”keitin täysi” tiedosta tulevaa pysäytysviivettä 55s -> 100s, jonka avulla saatiin keittimeen tulemaan alkuperäiseen tilanteeseen verrattuna 10 ylimääräisen sekunnin ajan haketta. 280t/h hihnapainolla tämä merkitsee 780kg:n keitinpainon lisäystä. Jos vuorokautiseksi keittomääräksi oletetaan 39 keittoa, tulee tämän muutoksen vaikutukseksi kapasiteettiin lisäystä noin 7t/vrk.

On mahdollista että aiemmin tehty pakkaushöyryn paineen nosto mahdollisti osittain tämän lisäyksen, koska hake mahdollisesti kasaantuu

keoksi haketäytön loppuvaiheessa. Suurempi paine voi rikkoa tämän keon ja siten mahdollistaa suuremman hakepainon ajamisen ”keitin täysi” ilmoituksen jälkeen.

11.1.2 Pakkaushöyryn paineen rampitus

Pakkaushöyryn paineen rampituksen vaikutus keittimeen mahtuvan hakkeen määrään oli noin 5,1 %, jos oletetaan että pakkaushöyryn paineen muutos ei vaikuttanut keittimeen mahtuvaan hakkeen määrään ”keitin täysi” ilmoituksen jälkeen. Tämä tarkoittaa 800 t/vrk tasolla noin 40t/vrk lisäystä tuotantoon.

Keittimen pidentynyt haketäyttö nostaa toisaalta haketäyttöön kuluva-aikaa noin 5,1 %, joka on 28 minuutin haketäyttöajasta laskettuna 84 sekuntia. Oletetulla 200 minuutin kiertoaajalla tällä on 0,7 % vähentävä vaikutus kapasiteettiin.

Uudella ajomallilla voidaan olettaa olevan noin 4,4 % korottava vaikutus keittämön kokonaiskapasiteettiin.

11.2 Kuumalipeätäyttö

Kuumamustalipeätäyttö oli ajautunut kevään ja kesän 2012 aikana pullonkaulaksi kuumamustalipeäpumpun tukkeutumisen takia. Aiemmin työssä tehtyjen oletusten mukaan mahdollistetaan näin 2,2 keittoa lisää/vrk. Pumpun juoksupyörän vaihdon vaikutus kapasiteettiin olisi siis laskennallisesti noin 57t/vrk.

11.3 Nosto/Keitto

Kaasaussihtien puhdistus kuuluu osana normaaliin rutiinityöhön. Likaantuneet sihdit vaikuttavat pidentävästi nostoaikaan, joten tätä on hyvä tarkkailla aktiivisesti. Likaantuneiden kaasaussihtien havaitsemiseksi

on Wedgemalliin tehty laskenta, jonka avulla likaantuneen sihdin havaitsee helposti.

Valkolipeää akun höyrylämmönvaihtimen läpi pumppaavan pumpun kierrosluvun nosto lyhensi nostoaikoja jonkun verran. Kapasiteetin lisäystä on vaikea arvioida.

11.4 Syrjäytys

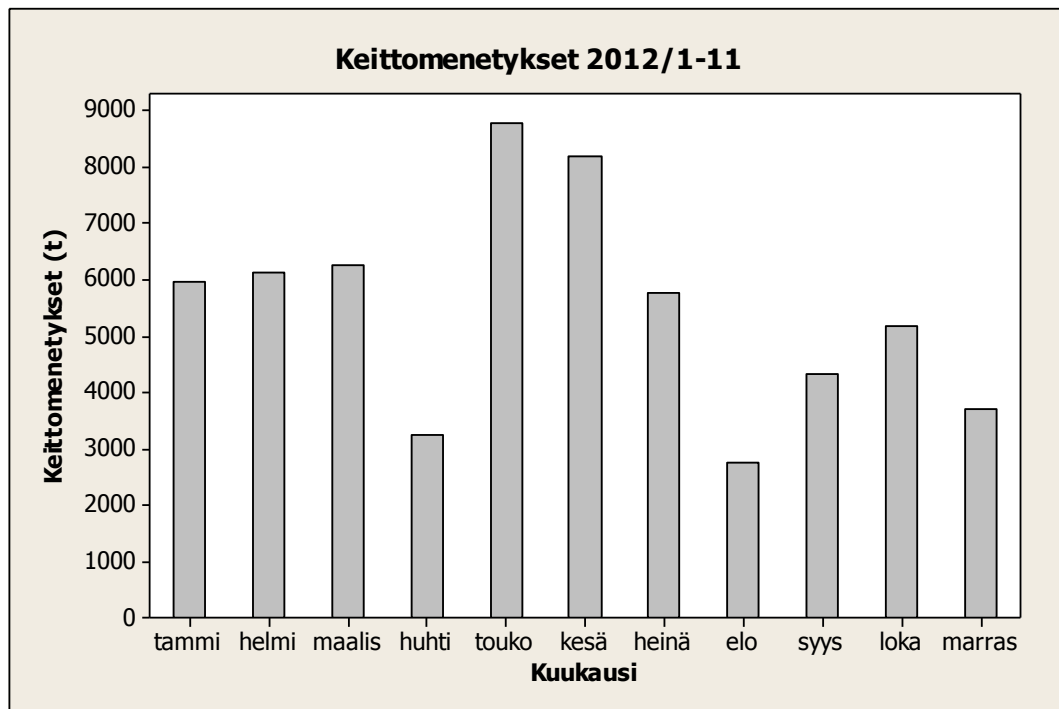
Syrjäytyksen katkeaminen syrjäytyssihdin yli olevaan paine-eroon jäi työn jälkeenkin isoksi ongelmaksi keittämölle. Venttiilien ohjauksen muuttaminen vähensi mahdollisesti syrjäytysten pätkimistä. Tästä ei kuitenkaan saatu täyttä varmuutta.

12 KOKEELLISEN OSAN YHTEENVETO

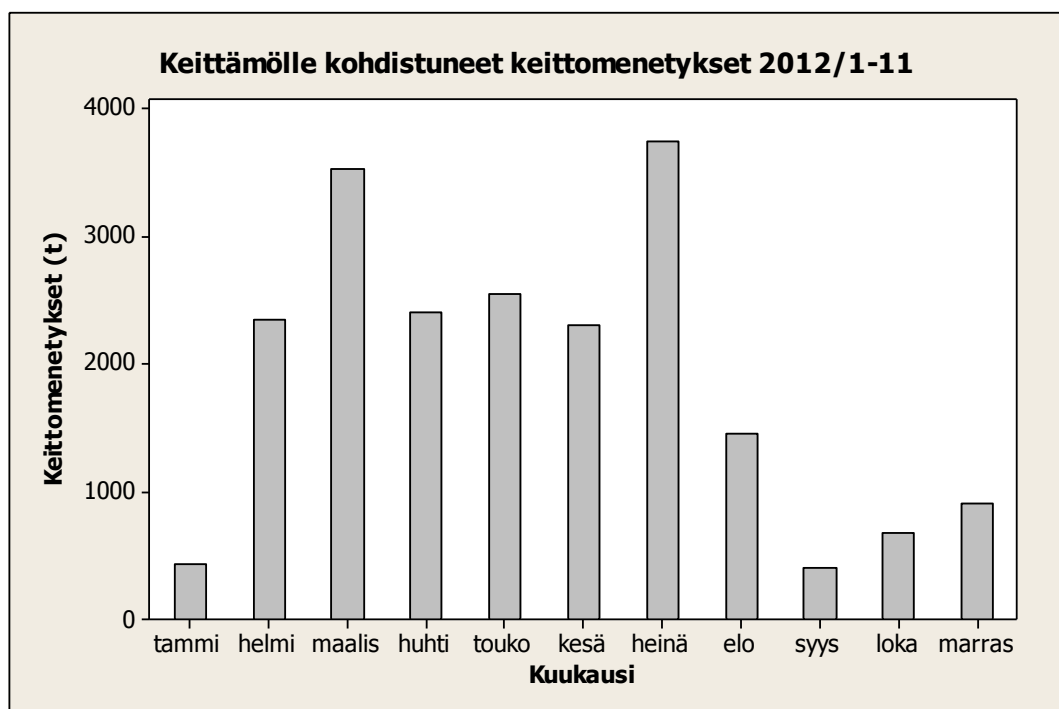
Kokeellisessa osassa valmisteltiin työkalut, joilla voidaan seurata keittimien 5-10 suorituskykyä ja sen kehittymistä. Kyseisillä työkaluilla voi pureutua myös tarkemmin jo havaittuun ongelmaan.

Työn suorituksen aikana tuotantoon tehdyt muutokset lisäsivät K5-K10:n kapasiteettia reilun 100t/vrk, eli noin 10%. Kapasiteetin lisäys ei ole siirtynyt täysimääräisesti tuotannon määrään, koska keittämöllä aiemmin ollut pullonkaula siirtyi ainakin osittain haihduttamolle, jonne keittomenetykset pääosin siirtyivät vuoden loppupuolella.

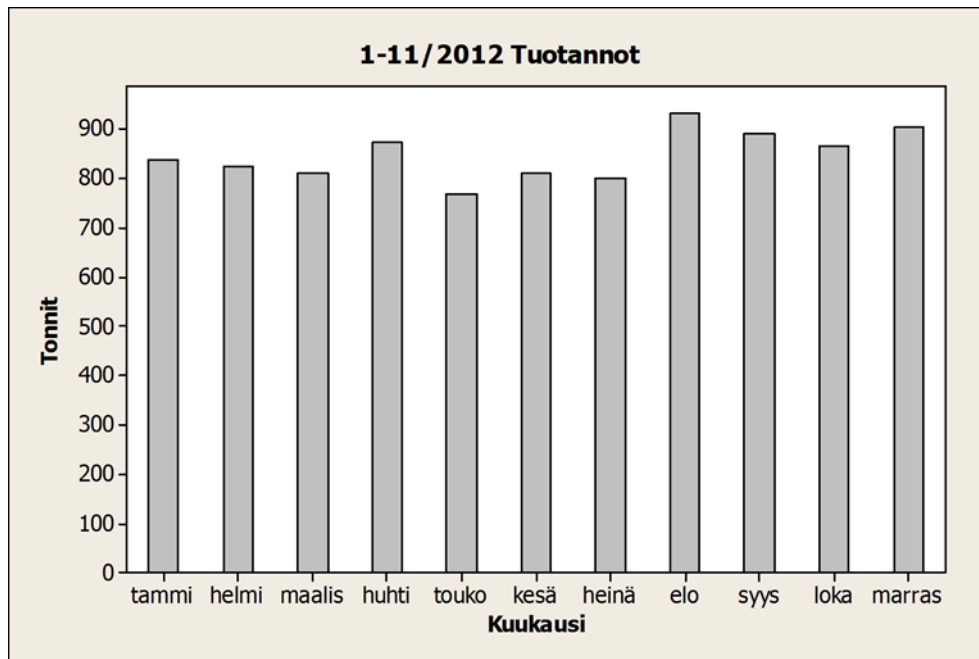
Seuraaviin taulukkoihin on kasattu vuoden 2012 tammi-marraskuu välisen ajan kuukausittaiset tuotannon keittomenetykset, keittämöön kohdistuneet keittomenetykset sekä keskimääräinen päivätuotanto jokaisen kuukauden osalta. Kuten taulukoista nähdään, keittämöön kohdistuvat keittomenetykset ovat vähentyneet loppuvuoden aikana ja tuotanto vastaavasti noussut.



Kuva 19. KL2:n keittomenetykset 2012



Kuva 20. Keittämöön kohdistuneet keittomenetykset 2012



Kuva 21, KL2 keskimääräiset tuotannot kuukausittain

13 AJATUKSIAJATKOKEHITYKSEEN

13.1 Haketäytön hihnapainot

Keittimeen ajettavan hakkeen määrä automaatiojärjestelmän antaman ”keitin täynnä” ilmoituksen jälkeen riippuu hihnojen hakepainosta.

Hihnojen hakepainot voivat laskea esimerkiksi talven aiheuttamien ongelmien takia huomattavasti jolloin keitin jää vajaaksi.

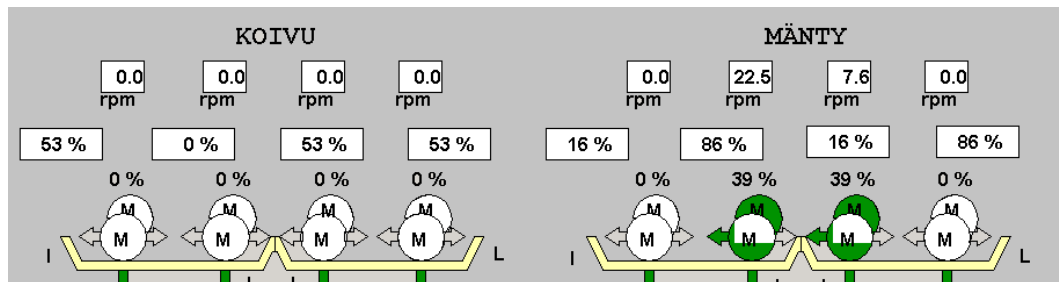
Keittimeen ajetaan ”keitin täynnä” ilmoituksen jälkeen 135 sekunnin ajan haketta. Tämä vastaa 300t/h hihnapainolla 11,25 tonnin hakemäärää. Jos keitin punnitus on tätä alhaisempi, esim. 200t/h ajetaan keittimeen vain 7,5tonnia haketta ”keitin täynnä” ilmoituksen jälkeen. Keitin jää tällöin 3,75 tonnia vajaaksi jos oletetaan sen olleen täynnä 300t/h hakehihnapainoilla.

Kyseiseen ongelman ratkaisu olisi automaation muutos niin, että ”keitin täynnä” ilmoituksen jälkeen keittimeen ajettava hakemäärä ajettaisiin kumuloituvan hihnapainon mukaan, siten että laskuri laskee keittimeen vakio hakemäärän riippumatta hihnapainosta.

13.2 Ruuvien ohjaus

Haketäyttösekvenssin ruuvien kierroksien säätöä on hankala käyttää, mistä johtuen ruuvivuorottelutilanteessa käy joskus niin, että keittojen hakemäärät ja siten myös käytännössä toteutuvat reseptit vaihtelevat ja poikkeavat halutusta. Hakesuhteet voivat myös olla väärin myös erehdyksen vuoksi.

Keittimen ohjaus tehdään nykyisin niin, että ruuvien vaadittavat kierrokset lasketaan Exceliin tehdyllä ohjelmalla, jonka jälkeen kierrosluku haetaan ruuvien moottorien ohjaustietoa säätämällä sopivaksi.



Kuva 22, Hakeruuvien ohjaus

Tämän ongelman poistamiseksi automaatiota voisi muuttaa niin, että hakelinjojen ohjaukseen voidaan syöttää suoraan ko. reseptin mukaiset annosteluprosentit, jonka mukaisesti ruuvien kierrosluvut säätyvät automaattisesti oikeiksi.

Kyseiseen ohjelmaan tulisi sisällyttää myös hihnapainon ohjaus. Laitettaessa haluttu hihnapaino, ruuvit ohjaisivat automaattisesti halutun suuruisen hihnapainon verran haketta hihnoille.

13.3 LL-Täyttö

Lämminlipeätäyttövirtauksen nopeus riippuu keittimessä olevan hakkeen ja lipeän määrän erotuksesta. Virtausta rampitetaan alaspäin jos lipeää on keittimessä liian paljon suhteessa hakkeeseen jotta estetään keittimessä olevat hakkeenkelluminen.

Lämminlipeävirtauksen rampitus ei mahdollisesti ole tällä hetkellä optimaalinen. LL-täyttöä voisi optimoida muuttamalla virtausmääriä suuremmaksi ja etsiä kriittinen raja, jolloin hakepatjan kelluminen alkaa. Kriittisen rajan havaitsee keittimeen mahtuvan hakkeen määrän pienenemisestä.

13.4 KL-Täyttö

Kuumamustalipeävirtauksen määrä vaihtelee akkujen pintojen ja keittimen haketäytön onnistumisen mukaan. Virtauksesta saataisiin tasaisempi ja nopeampi asentamalla suurempi, virtausmäärään mukaan kierrosohjattu pumppu tai mahdollisesti suurempi tuottoinen juoksupyörä nykyiseen pumppuun.

Toinen vaihtoehto olisi asentaa rinnalle pääpumppua pienempi, kierrossäädettävä pumppu, jolla nykyisen pumpun pumppauksen alenemat voitaisiin kompensoida. Tämä vaihtoehto edellyttäisi tarkempaa putkisto- ja automaatiotarkastelua kuinka virtaukset saataisiin joka tilanteessa tasaisestihallittua.

13.5 KMLA:n lämpötila nostossa

Kuumavalkolipeäakun lämpötila laahaa usein alhaalla. Nostoajat kasvavat tästä syystä useasti. Yhden asteen lasku KMLA:n lämpötilassa lisää nostoaikaa noin 40 sekuntia. Kuumavalkolipeäakun lämmitykseen tulisi järjestää lisäkapasiteettia, jotta tavoitelämpötilan päästäisiin joka tilanteessa.

13.6 KMLA:n paine

KMLA 2: paine pysyy usein korkealla koska sen kaasausta on vähennetty tärpättijärjestelmän ongelmien vuoksi. Nosto hidastuu, koska paine ei pääse purkautumaan keittimestä niin nopeasti ja täten höyryn virtaus keittimeen hidastuu. Kaasausta tärpättijärjestelmään ohjataan venttiileillä, joita on kuristettu tärpättijärjestelmän ylipaineistumisen vuoksi.

Akun kaasausta tärpättijärjestelmän suhteen optimoimalla on mahdollista saada akkuun lisäkapasiteettia joka johtaa nopeampiin nostoihin.

13.7 Syrjäytys

Syrjäytyksien keskeytyminen sihtien paine-eron vuoksi on suurin keittämön kapasiteettiin vuoden 2012 lopulla vaikuttava ongelma. Syynä tähän on syrjäytyssihtien tukkoisuus.

Kyseinen ongelma voidaan välttää seuraamalla sihtien tukkoisuutta Wedgemalliin tehdyllä katkenneiden syrjäytysten laskennalla ja vaihtamalla tukkeutunut sihti ajoissa. Pahasti tukkeutunut syrjäytyssihti voi katkaista syrjäytyksen paine-eroon jopa kaksi kertaa syrjäytystä kohden, jolloin kokonaiskiertoaika pitenee jopa 5%. Tämän lisäksi syrjäytettävä ja syrjäytetty liemi sekoittuvat näissä tilanteissa.

Lähdeluettelo ja lähdeviitteet

1. Isotalo, K., Puu- ja sellukemia. Opetushallitus. Helsinki 1996. 124s.
2. Salla Tuulos-Tikka, Puumateriaalin kemiallinen käyttäytyminen sulfaattikeiton alkalisessa etanolikäsittelyssä. Licensiaattitutkimus. Jyväskylän yliopisto. Kemian laitos 2002. 78s.
3. Seppälä, M., Kemiallinen metsäteollisuus 1. Paperimassan valmistus. Opetushallitus, Hakapaino oy, Helsinki 1999. 201s.
4. Puumassan valmistus. Suomen paperi-insinöörien yhdistyksen oppi- ja käsikirja, Osa 1. Turku 1983. 1930s.
5. Säynevirta, S., Mustalipeän vaikutus koivusulfaattimassan vaalenevuuteen. Teknillinen korkeakoulu, Espoo 2000. 103s.
6. Gullichsen, J., Malkov, S., Tikka, P. Towards complete impregnation of wood chips with aqueous solutions. Black liquor penetration into pine chips. Paperijapuu 8/2001, s. 605-609.
7. Kontu, T., Suullista tietoa 31.10.2012.
8. Kylmälä, J., Koivusulfaattimassan vaalenevuuteen vaikuttavia tekijöitä syrjäytyseräkeittomenetelmällä. Diplomityö. Teknillinen korkeakoulu, selluloosatekniikan laboratorio Espoo. 1998, 115 s.
9. Joutsimo, O., Modernin syrjäytyseräkeiton tasaisuuden problematiikka. Diplomityö. Teknillinen korkeakoulu, Puunjalostustekniikan osasto, Espoo 1999. 104s.
10. Tuntematon tekijä. Puusta paperiin, MK-401, Sulfaattikeitto Superbatch, toim. MetlasKy, 1. painos, Lappeenranta 1991 Etelä-Saimaan Kustannus Oy, 190s.
11. Kahelin, J. SuperBatch-keiton termisen loppusyrjäytyksen tehokkuuden tutkiminen. Diplomityö. Teknillinen korkeakoulu, Puunjalostustekniikan laitos Espoo 1005. 59s.
12. Manninen, M., Havumustalipeän vaikutus koivusulfaattimassan uuteaineiden peseytymiseen, Opinnäytetyö 2010, Saimaan ammattikorkeakoulu. 53s.
13. Knowpulp 18.9.2012
[http://139.157.176.70/infoservices/knowpulp/KNOWPULP_6_0_EN%20\(D\)/suomi/pulping/cooking/3_batch/1_methods/frame.htm?zoom_highlightsu b=er%E4keitto](http://139.157.176.70/infoservices/knowpulp/KNOWPULP_6_0_EN%20(D)/suomi/pulping/cooking/3_batch/1_methods/frame.htm?zoom_highlightsu b=er%E4keitto)
14. Sixta, H. Handbook of Pulp, Edited by Herbert Sixta. 2006. 1284s.
15. Papermaking science and technology, Chemical pulping. Finnish Paper Engineers' Association, 2008. 186s.

16. Sixta, H Handbook of Pulp Edited by Herbert Sixta 4.2.6ch4b, Process Chemistry of Kraft Cooking. 2006.1369s.
17. KaukoLeiviskä, Papermaking science and technology (Process control).Fapet, 1999, 297s.
18. Honeywell Pulping Solutions, EnocellOy, SuperBatcheräkeittämön, ylätasonohjaus, V1.2.
19. HarriSnellman, suullistatietoa 1.3.2013.

LIITE 1, Sekvenssien askeleet.

1.	Vara-aika
2.	Haketäyttö
1	Häiriöjärjestelyt
2	Häiriöjärjestelyt
10	Haketäytön varaus
15	Käynti vuorotellen
20	Kannen aukaisu, Vaa'an taaraus
30	Alimman ruuvin käynnistys
40	Keskimmäisen ruuvin käynnistys
50	Ylimmän ruuvin käynnistys
60	Pitkä hihna käynnistetään
70	Lyhyt hihna käynnistetään
80	Purkainhihnat käynnistetään
90	Mäntyhake purkuruuvien käynnistys
91	MH. Purkur. siirron käynnistys
95	Koivuhake purkur käynnistys
96	K.H purkur siirron käynnistys
100	Höyrypakkaus
110	Mäntyhakkeen purku lopetetaan
115	Koivuhakkeen purku lopetetaan
120	Purkainhihnat pysäytetään
130	Lyhyt hihna pysäytetään
140	Pitkä hihna pysäytetään
150	Ylin ruuvi pysäytetään
160	Keskimmäinen ruuvi pysäytetään
170	Alin ruuvi pysäytetään
180	Kansi suljetaan
190	Ilmanpoistoventtiili suljetaan
200	Haketäyttövaraus puretaan

3. LL-Täyttö

0	Aloitusehtojen tarkastus
1	Häiriöjärjestelyt
3	Häiriöjärjestelyt
5	Häiriöjärjestelyt
7	Pintojen tarkistus
10	Lämminlipeätäytön varaus
15	LLT-Tilavuuden päivitys
20	Ventt. LL-säiliöön ylös auki
30	Imeytyspumppu käynnistetään
40	Paineensäätöventtiili avataan
50	Lämminlipeätäyttl käynnissä
60	Alkupaineistuksen suoritus
70	Avataan paieensäätöventtiili
80	Loppupaineistus
90	Venttiili LLk:mesta suljetaan
100	Venttiili Lepeät k:meen suljetaan
110	Venttiili LML-täyttö suljetaan
120	Imeytyspumppu pysäytetään
124	LML paineistus
126	LML-paineistus lopetus
130	LL Täyttövaraus puretaan

4. KL-Täyttö

0	Aloitusehtojen tarkistus
1	Häiriöjärjestelyt
3	Häiriöjärjestelyt
5	Häiriöjärjestelyt
7	Pintojen tarkistus
10	Kuumalipeätäytön varaus
15	KLT-Tilavuuden määrittäminen
20	Ventti- LL KML-Täytöstä avataan
30	Täyttöpumppu käynnistetään
40	KML alkutäyttö
50	Valkolipeäpumppu käynnistetään
60	KVL annostus
70	KVL virtauksen alarampitus
80	Suljetaan KVL-täyttöventtiili
90	Loppu KML ajo
100	Säätöventtiilit suljetaan
110	Kuumalipeätäytön lopetus
120	Täyttöpumppu pysäytetään
130	KL-täyttövaraus puretaan
141	Lopetusaskel

5. Nosto/keitto

0	Aloitusehtojen tarkistus
1	Häiriöjärjestelyt
10	Kiertopumppu käynnistetään
20	Tasauskierrätys
30	Nosto
40	Keitto
45	Lämpötilamittausten tarkastus
50	Pyydetään syrjäytyslupaa
60	Suljetaan kiertuventtiilit
70	Pysäytetään kiertopumppu
80	Nosto/keitto valmis
91	Lopetusaskel

6. Syrjäytys

0	Aloitusehtojen tarkastus
1	Häiriöjärjestelyt
3	Häiriöjärjestelyt
5	Häiriöjärjestelyt
7	Pintojen tarkastus
10	Syrjäytyksen varaus
15	Syrjäytystavoitteen tarkastus
20	Syrjäytyksen valmistelu
30	Syrjäytyspumppu käynnistetään
40	Syrjäytys
41	Syrjäytyksen keskeytys (Iso paineheitto)
42	Kiertopumppu käyntiin
43	Yläkiertoventtiili auki
44	Kierrätyksen lopetus, syrjäytys jatkuu
50	Säätöventtiili suljetaan
60	Syrjäytys lopetetaan
70	Syrjäytyspumppu pysäytetään
80	Syrjäytysvaraus puretaan
90	Kiertopumppu käynnistetään
100	Kierrätys
110	Kierrätys valmis
120	Syrjäytys valmis

7. Tyhjennys

0	Aloitusehtojen tarkistus
1	Häiriöjärjestelyt
10	Tyhjennysvaraus
20	Laimennuspumppu käy. Puskuventtiilin aukipyyntö
30	Puskupumppu käynnistetään
40	Tyhjennys käynnistyy
50	Laimennuksen parrastus
60	Laimennusehtojen tarkistus
70	Laimennus vain alasuuttimista
80	Laimennus lopetetaan
90	Laimennuspumppu pysäytetään
100	Tyhjp. jälkeinen venttiili suljetaan
110	Puskupumppu seis, puskuventtiili kiinni.
120	Ilmanpoistovenktiili avataan
130	Tyhjennys valmis
131	Lopetusaskel

LIITE 2, OPTIVISION RAPORTTI

	K5	K6	K7	K8	K9	K10	Ka	Tavoite
PUNNITUS								
täysi keitin t	321,5	323,9	318	317,6	318	317,6	319,6	
märkä hake t	106,4	91,4	104,3	106,4	104,3	106,4	102,9	110
kuiva hake t	46,8	40,2	45,9	46,8	45,9	46,8	45,3	47
HÖYRY								
t	7,3	2	6,9	6,9	6,9	6,9	5,9	7
VALKOLIPEÄ								
väk.Ag/INa2O	104	104	104	104	104	104	104	104
Neste/puu	5,9	7,1	5,9	5,8	5,9	5,8	6,1	5,9
(Lipeä/puu t)	4,6	5,8	4,7	4,5	4,7	4,5	4,8	4,7
LIPEÄMÄÄRÄT								
LML	261	272	264	265	264	264	265	265
aiku KML	140	140	140	140	140	140	140	140
KVL	65	65	65	65	65	65	65	65
kok.KML	241	241	241	241	241	241	241	265
kok.SL	345	360	346	361	348	359	353	350
puskulaim.	113	93	129	106	96	101	106	100
LÄMPÖTILAT								
LML	73	49	68	70	68	70	66	70
KML	137	139	137	139	137	136	138	137
noston tasaus	168	168	168	168	169	168	168	168
tasaus+10	156	157	160	160	158	159	158	160
nosto	168	168	168	169	168	169	168	168
keitto	168	168	168	169	168	169	168	168
syrjäytys	89	89	91	91	89	89	90	90
VAIHEAJAT								
kok.aika	202	200	201	202	200	201	201	190
sekvenssi	190	196	195	194	190	186	192	190
Hake+LML	40	39	40	42	39	40	40	38
haketayttö	26	23	27	28	25	27	26	27
LML täyttö	28	28	29	29	28	28	28	27
KML täyttö	29	27	28	27	28	28	28	28
noston tasaus	2	2	2	2	2	2	2	2
nosto	25	29	21	20	22	37	25	25
keitto	48	51	53	54	53	31	48	45
syrjäytys	34	37	36	37	35	36	36	36
pusku	15	12	16	14	13	15	14	13
ODOTUSAJAT								
haketayttö	1	1	1	3	1	4	2	0
LML täyttö	0	0	0	0	0	0	0	0
KML täyttö	8	3	3	4	8	7	5	0
syrjäytys	0	0	0	0	0	0	0	0
pusku	2	0	2	1	1	4	2	0
SUMMA	12	4	6	8	10	15	9	0
H-TEKIJÄ								
ka	1004	990	989	995	1001	987	994	1000
min	983	979	965	982	977	972	976	950
max	1021	1005	1001	1015	1027	1010	1013	1050
keskihaj.	15	9	12	12	16	13	13	
Puskus.pinta %	55	50,7	53,9	55,7	53,9	55,7	53,9	50
						Viimeiner	7 vrk	
						Viimeiner	30 vrk	
							Aikajakso	Haku
						Lajikoodi	Alku	Loppu

	1. Aikajakso			2. Aikajakso			Haku											
	Lajikoodi	Alku	Loppu	Lajikoodi	Alku	Loppu												
	K5	K5	K6	K6	K7	K7	K8	K8	K9	K9	K10	K10	Ka	Ka				Tavoite
PUNNITUS																		
täysi keitin t	321,5	319,6	323,9	323,9	318	319,6	317,6	318	318	323,9	317,6	321,5	319,6	318				
märkä hake t	106,4	102,9	91,4	91,4	104,3	102,9	106,4	104,3	104,3	91,4	106,4	106,4	102,9	104,3				110
kuiva hake t	46,8	45,3	40,2	40,2	45,9	45,3	46,8	45,9	45,9	40,2	46,8	46,8	45,3	45,9				47
HÖYRY																		
t	7,3	5,9	2	2	6,9	5,9	6,9	6,9	6,9	2	6,9	7,3	5,9	6,9				7
VALKOIPEÄ																		
väk.Ag/INaZO	104	104	104	104	104	104	104	104	104	104	104	104	104	104				104
Neste/puu	5,9	6,1	7,1	7,1	5,9	6,1	5,8	5,9	5,9	7,1	5,8	5,9	6,1	5,9				5,9
(Lipeä/puu t)	4,6	4,8	5,8	5,8	4,7	4,8	4,5	4,7	4,7	5,8	4,5	4,6	4,8	4,7				4,7
LIPEAMÄÄRÄT																		
LML	261	265	272	272	264	265	265	264	264	272	264	261	265	264				265
alku KML	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140				140
KVL	65	65	65	65	65	65	65	65	65	65	65	65	65	65				65
kok.KML	241	241	241	241	241	241	241	241	241	241	241	241	241	241				265
kok.SL	345	353	360	360	346	353	361	346	348	360	359	345	353	348				350
puskulaim.	113	106	93	93	129	106	106	129	96	93	101	113	106	96				100
LÄMPÖTILAT																		
LML	73	66	49	49	68	66	70	68	68	49	70	73	66	68				70
KML	137	138	139	139	137	138	139	137	137	139	136	137	138	137				137
noston tasaus	168	168	168	168	168	168	168	168	169	168	168	168	168	169				168
tasaus+10	156	158	157	157	160	158	160	160	158	157	159	156	158	158				160
nosto	168	168	168	168	168	168	169	168	168	168	169	168	168	168				168
keitto	168	168	168	168	168	168	169	168	168	168	169	168	168	168				168
syjäytys	89	90	89	89	91	90	91	91	89	89	89	89	90	89				90
VAIHEAJAT																		
kok.aika	202	201	200	200	201	201	202	201	200	200	201	202	201	200				190
sekvenssi	190	192	196	196	195	192	194	195	190	196	186	190	192	190				190
Hake+LML	40	40	39	39	40	40	42	40	39	39	40	40	40	39				38
haketayttö	26	26	23	23	27	26	28	27	25	23	27	26	26	25				27
LML täyttö	28	28	28	28	29	28	29	29	28	28	28	28	28	28				27
KML täyttö	29	28	27	27	28	28	27	28	28	27	28	29	28	28				28
noston tasaus	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2				2
nosto	25	25	29	29	21	25	20	21	22	29	37	25	25	22				25
keitto	48	48	51	51	53	48	54	53	53	51	31	48	48	53				45
syjäytys	34	36	37	37	36	36	37	36	35	37	36	34	36	35				36
pusku	15	14	12	12	16	14	14	16	13	12	15	15	14	13				13
ODOTUSAJAT																		
haketayttö	1	2	1	1	1	2	3	1	1	1	4	1	2	1				0
LML täyttö	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0				0
KML täyttö	8	5	3	3	3	5	4	3	8	3	7	8	5	8				0
syjäytys	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0				0
pusku	2	2	0	0	2	2	1	2	1	0	4	2	2	1				0
SUMMA	12	9	4	4	6	9	8	6	10	4	15	12	9	10				0
H-TEKUJÄ																		
ka	1004	994	990	990	989	994	995	989	1001	990	987	1004	994	1001				1000
min	983	976	979	979	965	976	982	965	977	979	972	983	976	977				950
max	1021	1013	1005	1005	1001	1013	1015	1001	1027	1005	1010	1021	1013	1027				1050
keskihaj.	15	13	9	9	12	13	12	12	16	9	13	15	13	16				
Puskus.pinta %	55	53,9	50,7	50,7	53,9	53,9	55,7	53,9	53,9	50,7	55,7	55	53,9	53,9				50

	Tavoite							Tallenna
Lajikoodi	Kaikki	601	600	801	501	-	-	-
PUNNITUS								
täysi keitin t								
märkä hake t								
kuiva hake t								
HÖYRY								
t								
VALKOLIPEÄ								
väk.Ag/INa2O								
Neste/puu								
(Lipeä/puu t)								
LIPEÄMÄÄRÄT								
LML								
alku KML								
KVL								
kok.KML								
kok.SL								
puskulaim.								
LÄMPÖTILAT								
LML								
KML								
noston taseaus								
taseaus+10								
nosto								
keitto								
syrjäytys								
VAIHEAJAT								
kok.aika								
sekvenssi								
Hake+LML								
haketäyttö								
LML täyttö								
KML täyttö								
noston taseaus								
nosto								
keitto								
syrjäytys								
pusku								
ODOTUSAJAT								
haketäyttö								
LML täyttö								
KML täyttö								
syrjäytys								
pusku								
SUMMA								
H-TEKIÄ								
ka								
min								
max								
keskihaj.								
Puskus.pinta %								